

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

**Zvýšení produktivity obrábění součástí pro elektrotechniku**

**Rationalization of Machining Parts for Electrical Engineering**

Student:

Monika Niederlová

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

Ostrava 2012

## Zadání bakalářské práce

Student:

**Monika Niederlová**

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

2303R002 Strojírenská technologie

Téma:

Zvýšení produktivity obrábění součástí pro elektrotechniku  
Rationalization of Machining Parts for Electrical Engineering

Zásady pro vypracování:

1. Obecná charakteristika daného problému.
2. Problematika obrábění malých součástí.
3. Návrh nového řešení obrábění vybrané součásti.
4. Diskuze experimentálních prací.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. Žilina : EDIS Žilina, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [3] HAVRILA, M.; ZAJAC, J.; BRYCHTA, J.; JURKO, J. *Top trendy v obrábění, I. část – Obráběné materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 205 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [4] ZAJAC, J.; JURKO, J.; ČEP, R. *Top trendy v obrábění, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [5] VASILKO, K.; HAVRILA, M.; MARCINCIN-NOVÁK, J.; MÁDL, J.; ZAJAC, J. *Top trendy v obrábění, III. část – Technologie obrábění*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 214 s. ISBN 80-968954-2-7.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012



doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 21.05.2012

.....*Niederlehná*.....  
podpis studenta

### Prohlašuji, že

- jsem byla seznámena s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 21.05.2012

.....*Niederlová*.....  
podpis

Jméno a příjmení autora práce: Monika Niederlová

Adresa trvalého pobytu autora práce: Libina 664

78805 Libina

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

NIEDERLOVÁ, M. *Zvýšení produktivity obrábění součástí pro elektrotechniku : bakalářská práce.* Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2012, 53 s. Vedoucí práce: Vrba, V.

Bakalářská práce se zabývá zvýšením produktivity obrábění součástí pro elektrotechniku. Byla realizována ve společnosti EPCOS s.r.o. Šumperk. Řeší výrobu keramických pozistorů, které dodává do automobilového průmyslu, elektronického průmyslu a do telekomunikačních technologií. V úvodu je popsána obecná charakteristika a obrábění malých součástí. Další kapitola je věnována návrhu nového řešení obrábění vybrané součásti při procesu lapování. Dále se práce věnuje experimentální části, ve které je uveden postup spolu s naměřenými hodnotami. Závěrem práce je technicko-ekonomické zhodnocení a zjištění zdali bylo dosaženo požadované zvýšení produktivity.

## **ANNOTATION OF BACHELOR THESIS**

NIEDERLOVÁ, M. *Rationalization of Machining Parts for Electrical Engineering : Bachelor Thesis.* Ostrava : VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining and Assembly, 2012, 53 p. Thesis head: Vrba, V.

This bachelor thesis deals with increase of productivity of machining parts for electrotechnics. It was implemented in the company EPCOS s.r.o. Šumperk. It is concerned with production of ceramic pozistor, supplied to the automotive industry, electronic industry and telecommunications technologies. The introduction describes general characteristics and machining of small parts. Another chapter is devoted to the working draft of the new solutions of the selected component in the process of lapping. It also thesis discusses the experimental part in which the above procedure along with the measured values. In the conclusion, there is the technical-economic evaluation and the findings was achieved if the required increase in productivity.

# Obsah

<b>Seznam použitých značek a symbolů .....</b>	<b>7</b>
<b>Úvod .....</b>	<b>8</b>
<b>1. Obecná charakteristika daného problému .....</b>	<b>10</b>
1.1 Firma EPCOS s.r.o., Šumperk .....	10
1.1.1 Hlavní využití pozistorů (PTC).....	12
<b>2. Problematika obrábění malých součástí.....</b>	<b>13</b>
2.1 Termistor .....	13
2.1.1 Pozistor .....	14
2.2 Lapování .....	16
2.2.1 Podstata metody .....	17
2.2.2 Způsoby a použití.....	17
2.2.3 Nástroj.....	18
2.2.4 Druhy lapování .....	22
2.2.5 Stroje.....	23
2.2.6 Pracovní podmínky .....	24
2.2.7 Dosahované parametry .....	25
2.2.8 Zvláštní způsoby lapování .....	25
<b>3. Návrh nového řešení obrábění vybrané součásti .....</b>	<b>27</b>
3.1 Proces lapování .....	27
<b>4. Diskuze experimentálních prací .....</b>	<b>30</b>
<b>5. Technicko-ekonomické zhodnocení.....</b>	<b>45</b>
<b>6. Závěr .....</b>	<b>50</b>
<b>Seznam použitých pramenů .....</b>	<b>51</b>

## Seznam použitých značek a symbolů

MAG	Magnetics – divize Magnetika [-]
NTC	Negative Temperature Coefficient – negastory [-]
PPD	Piezo & Protection Devices – divize Piezo a ochranných zařízení [-]
PTC	Positive Temperature Coefficient – pozistory [-]
$R$	odpor termistoru [ $\Omega$ ]
$R_a$	drsnost povrchu [ $\mu m$ ]
$R_z$	maximální hodnota nerovnosti [ $\mu m$ ]
$p$	přítlak [MPa]
$t$	teplota [ $^{\circ}C$ ]
$t_j$	jmenovitá teplota [ $^{\circ}C$ ]
$t_1$	doba lapování [min]
$v_1$	rychlost pracovního pohybu [ $m.min^{-1}$ ]
daN	1 [daN] = 10 [N]

# Úvod

Bakalářská práce se zabývá zvýšením produktivity obrábění součástí pro elektrotechniku.

Byla realizována ve společnosti EPCOS s.r.o. Šumperk, která je významným výrobcem feritových jader a keramických pozistorů. Společnost je na trhu už dvanáct let od zahájení výroby v novém závodě, jinak historie společnosti sahá až do roku 1989. Podle jednotlivých procesů lze výrobu keramických pozistorů rozčlenit na fáze: lisování, výpal substrátu, lapování součástek, třídění polotovaru, naprašování, metalizace/výpal, broušení/řezání, měření a třídění/balení, až k samotné výstupní kontrole. Komponenty dodává pro automobilový průmysl, elektronický průmysl a pro telekomunikační technologie. Lze je nalézt v mnoha automobilech značky BMW, Citroen, Ford nebo Renault, stejně jako v mnoha dalších.

Cílem bakalářské práce je zvýšit produktivitu lapování, proto se zamyslíme nad možnostmi jak zvýšit produktivitu a spojit to zároveň se šetřením nákladů a udržet nejméně stejnou kvalitu vyráběných součástek. Budeme brát na vědomí tři důležité vlivy:

První důležitý vliv na rychlost lapování má hlavní lapovací tlak, který ovlivňuje kvalitu a zmetkovitost (praskající kusy).

Druhý vliv na zvýšení produktivity je možnost navýšit počet otvorů v lapovací kleci.

Poslední možnost pro zvýšení produktivity je lapovací směs, která je používána při lapování (karbid křemíku).

V experimentální části jako první důležitý vliv na rychlost lapování má hlavní lapovací tlak. Chceme v těchto čtyřech testech zvýšením hlavního lapovacího tlaku zvýšit produktivitu lapování. Při zvyšování hlavního lapovacího tlaku budeme muset kontrolovat zmetkovitost praskajících kusů, abychom ve výsledku našich testů mohli najít kompromis mezi produktivitou a zmetkovitostí co se týče po finanční stránce.

Jako druhý vliv na zvýšení produktivity je možnost navýšit počet otvorů v lapovací kleci. Naším záměrem bude zvýšení počtu otvorů v lapovací kleci, při kterém chceme zvýšit produktivitu lapování. Při zvýšení počtu kusů na jednu rundu při stejném lapovacím tlaku nám stoupne lapovací čas jedné rundy, ale ten budeme muset navýšit, tak aby tlak



působící na jeden kus byl stejný. Tím dosáhneme stejnou délku lapování, ale olapujeme o navýšené množství kusů více.

Jako poslední možnost pro zvýšení produktivity uvádíme lapovací směs, která je používaná při lapování (karbid křemíku). Použijeme zrnitost SiC s většími granulemi F360 a porovnáme ji se zrnitostí, kterou společnost aktuálně používá a to se zrnitostí SiC F400. V tomhle testu budeme chtít docílit toho, aby byla zajištěna stále vyhovující drsnost i při větší zrnitosti a proces lapování byl rychlejší.

Závěrem bakalářské práce bude technicko-ekonomické zhodnocení a zjištění, jestli bylo dosaženo požadované zvýšení produktivity.

# 1. Obecná charakteristika daného problému

Výrobky společnosti EPCOS s.r.o (ferity a keramické pozistory) spadají do dvou divizí a to feritová jádra do divize „Magnetics“ a keramické pozistory do divize „Piezo & Protection Devices“. Moje bakalářská práce se zabývá zvýšením produktivity obrábění součástí pro elektrotechniku, budu se tedy soustředit na divizi Piezo & Protection Devices. Keramické pozistory zde prochází celým výrobním procesem, tedy od lisování substrátu, přes výpal, lapování až k samotnému balení. V bakalářské práci se budu věnovat lapování keramických pozistorů.

## 1.1 Firma EPCOS s.r.o., Šumperk

Firma EPCOS s.r.o. se sídlem v Šumperku na ulici Feritová 1 je součástí nadnárodní společnosti TDK Corporation, se sídlem v Japonsku. Zabývá se výrobou feritových jader a keramických pozistorů. Dodává je pro automobilový průmysl, elektronický průmysl a pro telekomunikační technologie. Tyto komponenty tak naleznete v mnoha automobilech značky BMW, Citroen, Ford nebo Renault, stejně jako v mnoha dalších. [1]

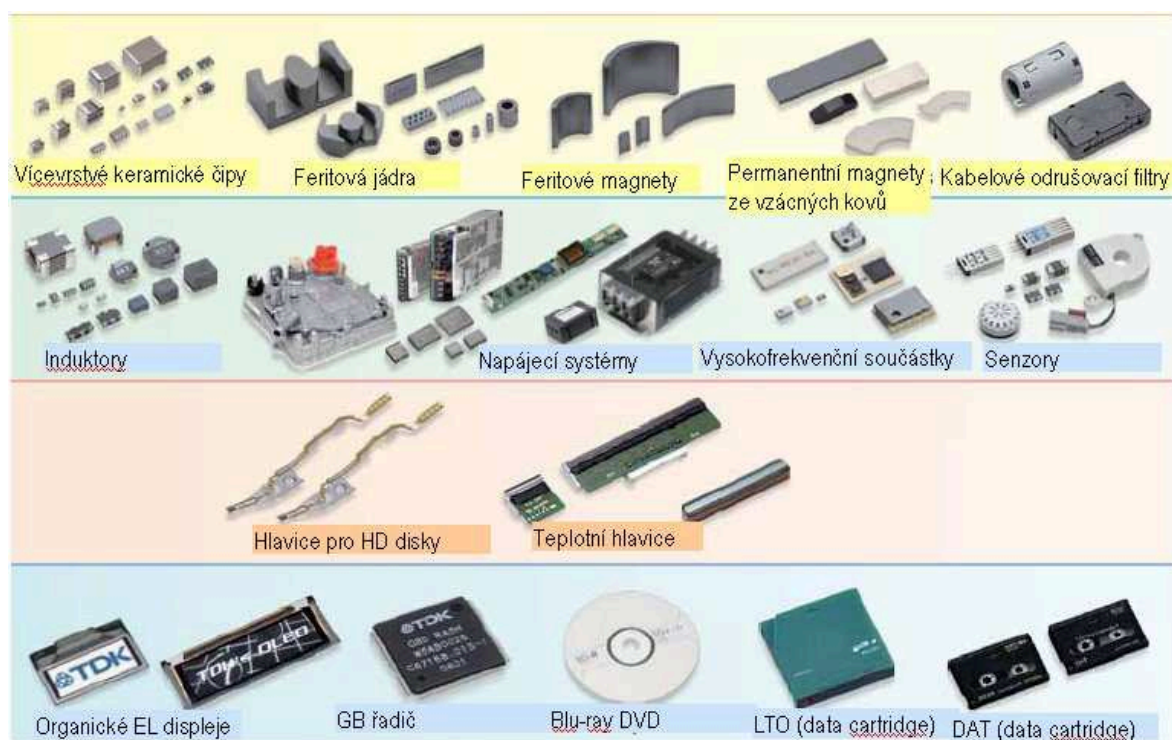
Firma v současné době zaměstnává více než 869 zaměstnanců. Velkou pozornost věnuje ochraně zdraví, zlepšování pracovního prostředí, vybavení pracovišť, bezpečnost práce a ochraně životního prostředí. [1], [2]

Společnost se rozvíjí dynamicky, nabízí pracovní příležitosti pro každého. Najdou zde uplatnění jak kvalifikovaní odborníci zejména z oblasti strojírenství tak i absolventi bez praxe. Prioritou vedení společnosti je spokojenost zaměstnanců a jejich profesní růst. Proto společnost nabízí svým zaměstnancům například studium anglického jazyka, možnost navštěvovat vzdělávací kurzy a rozvíjet své dovednosti a odborné znalosti. Společnost zaměstnancům pomáhá a povzbuzuje je, aby si kladli vyšší cíle a aby rozvíjeli svůj talent a schopnosti. [1], [2]



*Obr.1 Hlavní budova firmy TDK (EPCOS s.r.o.) [2]*

**Firma vyrábí:**



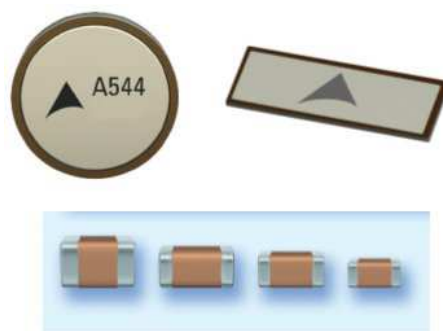
*Obr.2 Součástky které firma vyrábí [1]*



*Obr.3 Keramické komponenty – PTC (pozistory) [1]*

### 1.1.1 Hlavní využití pozistorů (PTC)

Firma zákazníkům dodává širokou škálu pozistorů různých tvarů od disků různých průměrů, přes obdelníkové vyhřívače až po SMD čipy o velikosti několika málo milimetrů. Rozměry stejně jako tvary se liší v závislosti na aplikaci u zákazníka. [1]



Obr.4 Různé tvary pozistorů [1]

#### • Automobilový průmysl

Až 26 % všech výrobků míří do automobilového průmyslu. Výrobky najdete v automobilech značky BMW, Citroen, Ford, Renault a dalších. [1]



Obr.5 Hlavní využití pozistorů (PTC) – Automobily [1]

#### • Další využití

Spotřební elektronika, přepět'ové ochrany

Mobilní telefony - ochrana vysokofrekvenční části

Ledničky – startování kompresorů

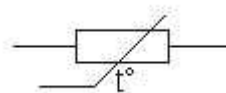
Pračky

Odmagnetizování masky u vakuových televizorů [1]

## 2. Problematika obrábění malých součástí

### 2.1 Termistor

(název vznikl z anglického thermally sensitive rezistor).



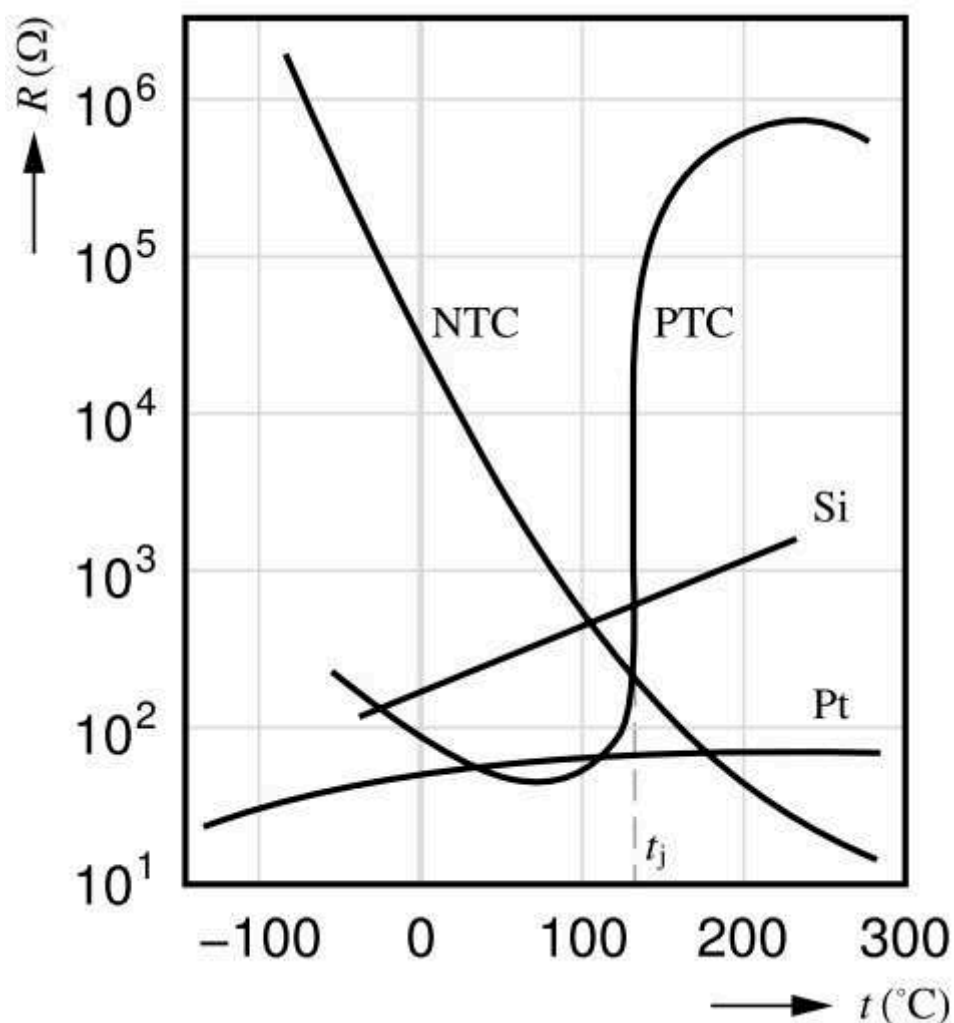
Obr.6 Schématická značka termistoru [3]

Termistor je polovodičová součástka bez přechodu, která je vyrobena z polykrytalických feroelektrických keramických materiálů. Takle struktura umožňuje výrobu termistorů různých tvarů např. destičky, kapky, disky a válečky. Základní vlastností je změna odporu se změnou teploty. Při změně jejich teploty může odpor se vzrůstající teplotou klesat, mohou tedy mít negativní teplotní koeficient odporu, nebo může jejich odpor se vzrůstající teplotou narůstat, mohou tedy mít pozitivní teplotní koeficient odporu. [4], [5]

**Podle toho se termistory rozdělují na:**

- **negastory** (NTC - Negative Temperature Coefficient) - klesá hodnota elektrického odporu s rostoucí teplotou. [5], [6]
- **pozistory** (PTC - Positive Temperature Coefficient) - roste hodnota elektrického odporu s rostoucí teplotou. [5], [6]

Mezi výhody termistorů patří malé rozměry a možnost přímého měření teploty na delší vzdálenost a snadný převod teploty na elektrické napětí nebo proud. Termistory jsou ve srovnání s kovovými odporovými teploměry velmi citlivé na změny teploty, protože jejich teplotní koeficient odporu je pět až padesátkrát vyšší. Ztráta linearit je daň, která se platí za vysokou citlivost (obr.7). [5]

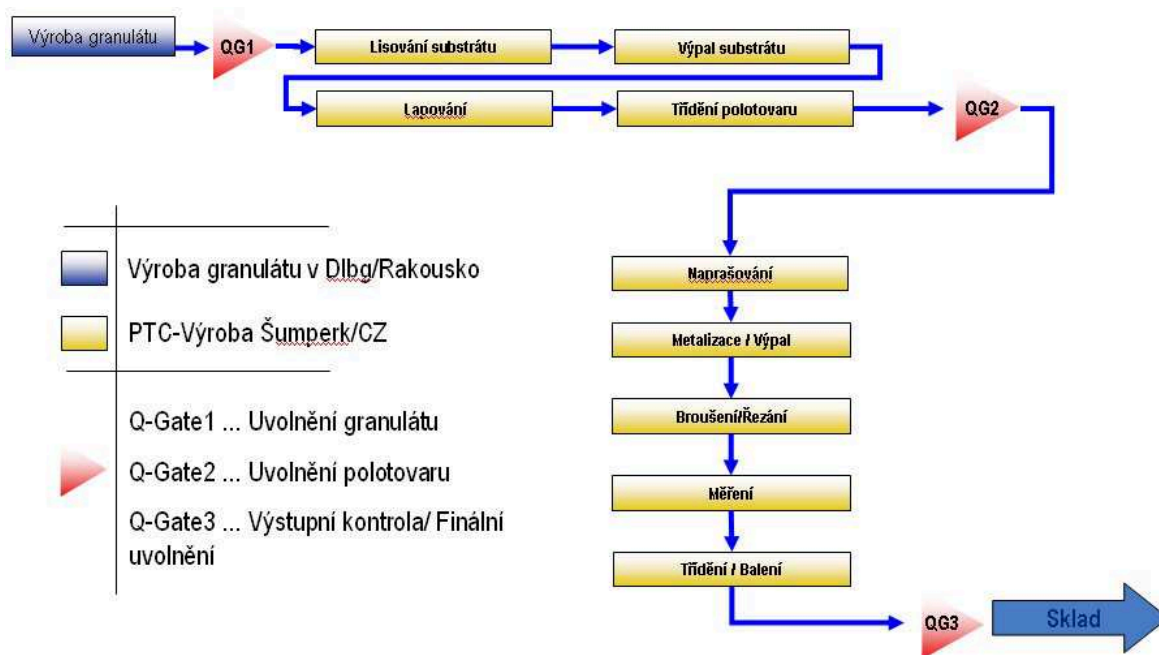


Obr. 7 Charakteristiky odporových snímačů teploty [5]

### 2.1.1 Pozistor

U pozistorů roste hodnota elektrického odporu s rostoucí teplotou. Vyrábějí se z polykrytalické feroelektrické keramiky, například z titaničitanu barnatého ( $\text{BaTiO}_3$ ), olova a stroncia s příměsí křemíku nebo tantalu. Se stoupající teplotou odpor pozistoru nejdříve mírně klesá. Projevuje se nad Curieovou teplotou prudký nárůst rezistivity materiálu v závislosti na teplotě (obr.7). Na takzvané jmenovité teplotě  $t_j$  závisí teplotní charakteristika, při níž se odpor skokem zvětší. [5]

## Výrobní proces pozistorů (PTC)



Obr.8 Výrobní proces pozistorů (PTC) [1]

### Příklady použití PTC termistorů:

#### - Vratné pojistky

Prochází-li termistorem příliš velký proud, který způsobí ohřátí součástky natolik, že dojde k překročení teploty, dochází ke strmému narůstání jejího odporu. Musí být obvod navržen tak, aby se při dlouhodobých povolených proudech vznikající teplo rozptýlilo do okolí. [6]

#### - Zapojení využívající dynamických vlastností termistoru

V závislosti na tepelných vlastnostech termistoru a velikosti procházejícího proudu lze dosáhnout různých zpoždění v obvodu se zapojeným termistorem. Lze toho využít např. pro rozběh motoru, kdy je zapojen termistor do větve pomocného startovacího vinutí. [6]

#### - Měření teploty

S výhodou lze pozistory použít k měření teplot v úzkém rozsahu teplot (z důvodu vysoké hodnoty teplotního součinitele). Pozistory lze použít v teplotním rozsahu 60 °C až 180 °C jako teplotní čidla, ale k měření se využívají zřídka. [6]

#### - Termostat, dvoustavové senzory (teplotní regulace) [6]

#### - Měření průtoku nebo hladiny [6]



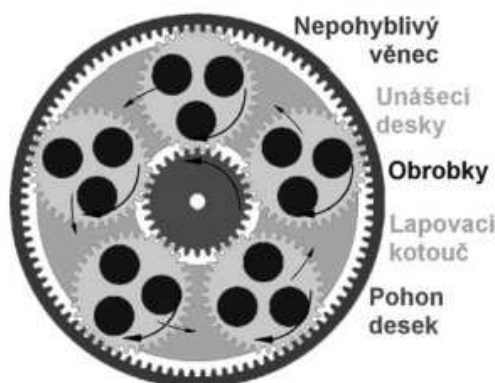
## 2.2 Lapování

Lapování je dokončovací metoda obrábění, kterou je možno dosáhnout nejvyšší přesnosti rozměrů ( $0,1 \mu m$  až  $0,5 \mu m$ ) i geometrického tvaru a povrchů s nejnižší drsností ( $Ra = 0,01 \mu m$  až  $0,15 \mu m$ ). Je vhodné pro dokončování rovinných i tvarových ploch, vnitřních i vnějších, válcových i kuželových ploch, závitů apod. Lapování je zvláštní druh velmi jemného broušení. Na rozdíl od jiných dokončovacích operací dochází k úběru materiálu převážně účinkem zrn volného brusiva, přiváděného kapalinou nebo měkkou pastou mezi obrobek a nástroj. Zlepšování do určité míry geometrického tvaru a i drsnosti obrobených ploch probíhá při odřezávání mikronerovností brousicími zrna, kterými na povrchu obrobku pohybuje lapovací nástroj (obr.12). Také plastická deformace malých nerovností, ke které dochází tlakem pohybujících se brusných zrn, přispívá ke zlepšení kvality povrchu. [7]

Tab. 1 Dosahovaná přesnost lapování rovinných a vnitřních rotačních ploch [8]

Lapování	Přesnost rozměrů IT		Drsnost povrchu $Ra [\mu m]$	
	střední	rozsah	střední	rozsah
hrubovací	4	$3 \div 5$	0,2	$0,16 \div 0,40$
jemné	2	$1 \div 3$	0,1	$0,08 \div 0,16$
velmi jemné			0,03	$0,01 \div 0,04$

Z technologického hlediska se lapování dělí podle charakteru úběru materiálu a to na hrubovací lapování, při kterém se odřezávají mikronerovnosti velkým počtem zrn a velmi jemné lapování, při kterém se povrch leští. Poměr těchto fází lapování lze vzájemně regulovat rychlostí pracovního pohybu, přitlakem nástroje a viskozitou nosného média brousicích zrn. Nevýhodou lapování je malá produktivita, velká pracnost a vysoké náklady v porovnání s ostatními dokončovacími metodami obrábění. [7], [8]

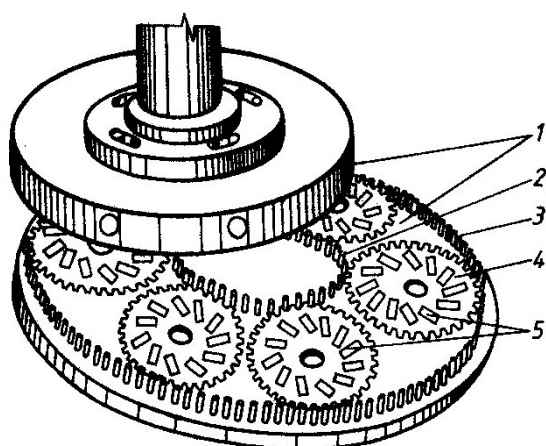


Obr.9 Schéma lapovacího procesu [8]



### 2.2.1 Podstata metody

Mezi pohybujícími se nástroji a obrobkem jsou v pastě nebo v kapalině volně rozptýlena zrna brusiva. Nástroj svým pohybem vyvolává pohyb zrn, která mění neustále svoji dráhu a svými různě orientovanými řeznými hranami odebírají s povrchu obrobku materiál ve tvaru jemných třísek (obr.10). [9]



Obr.10 Princip lapování [9]

- 1 – lapovací kotouče,
- 2 – vnitřní kolíkový věnec,
- 3 – vnější kolíkový věnec,
- 4 – maska,
- 5 – lapované součásti

### 2.2.2 Způsoby a použití

**Lapování můžeme rozdělit na způsoby**

- **Lapování podle pohonu nástroje**

- **Ruční**

nástroj se drží v ruce a všechny potřebné pohyby se vykonávají ručně, obrobek se nepohybuje, suspenze brousících zrn a kapaliny (příp. pasty) se mezi obrobek a nástroj dodává olejničkou nebo štětcem. [9]

- **Strojní**

(obr.10), pohyby obrobku a nástroje vykonává stroj, kapalina a suspenze brousících zrn se dodává plynule čerpadlem. [9]

- **Lapování podle principu úběru materiálu**

- **Mechanické**

Pouze působením řezných hran brousících zrn se děje úběr materiálu. [9]

#### **- Chemicko-mechanické**

Probíhá úběr materiálu tak, že jsou brousicí zrna rozptýlena v kapalině, která rozrušuje chemicky tenkou vrstvu povrchu lapované plochy obrobku, a brousicí zrna odstraňují mechanicky tuto narušenou vrstvu. [9]

#### **- Elektrolytické**

Dosahuje se úběru materiálu působením elektrického proudu, mechanického účinku brousicích zrn a chemického působení kapaliny. [9]

Lapováním lze opracovávat ocel (i kalenou), slitiny hliníku, těžkoobrobitelné materiály, nitridované povrchy, slitiny mědi (bronz, mosaz), slinuté karbidy a tvrdé otěruvzdorné povlaky. Je možné opracovat rovinné plochy, vnější i vnitřní tvarové i válcové plochy (např. ozubená kola a závity). [9]

Představiteli typických lapovaných součástí jsou základní měrky, kalibry, doteky měřidel, oběžné dráhy valivých ložisek, díry velmi přesných kluzných ložisek, povrchy valivých tělísek ložisek (kuželíky, kuličky, jehly, válečky), boky zubů přesných ozubených kol, přesné závity, dosedací plochy součástek těsnících proti unikání plynu nebo kapaliny, válce a písty vstřikovacích čerpadel a bříty tvarových nástrojů. [9]

Technologický postup je velmi důležitou součástí lapování po jeho ukončení dokonalé očištění lapované součásti od zbytků brousicích zrn, pasty a kapaliny. Lze použít k čištění např. petrolej, roztok nitridu sodného, roztok trinátriumfosfátu apod. [9]

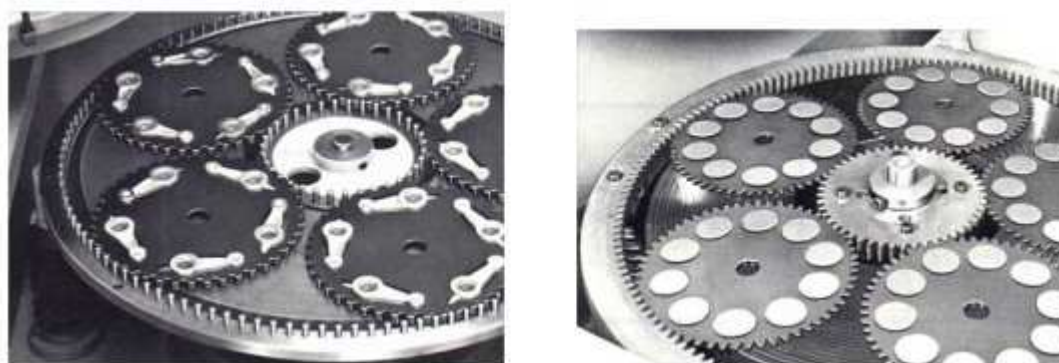
Při rozhodování o použití lapování je nutné uvážit, že předcházející obrábění musí být přesné a že se jedná o nákladnou operaci trvající poměrně dlouho. Je účelné použít lapování tam, kde se vyžaduje vysoká jakost obrobeného povrchu, tvar a přesné rozměry. [9]

### **2.2.3 Nástroj**

Nástroj u lapování je tvořen dvěma částmi: lapovacím nástrojem a lapovacím prostředkem. Lapovací nástroj má negativní tvar lapované plochy a jeho funkcí je vést po ploše obrobku lapovací prostředek. [9]

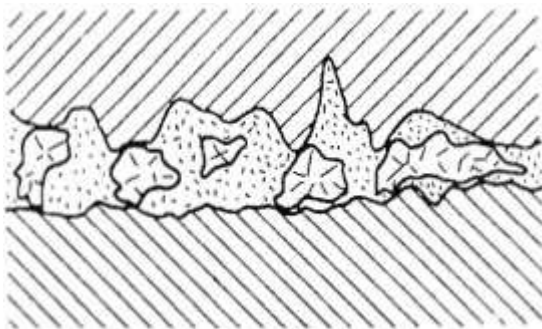
Brusnými zrny rozptýlenými v kapalině nebo pastě je tvořen lapovací prostředek. [9]

Nejčastěji se vyrábějí z kvalitní jemnozrnné perlitické nebo feritické litiny, z mědi, olova, měkké oceli, plastických hmot apod. Pro dosažení velmi jemných lapovaných povrchů nebo pro lapování velmi tvrdých materiálů se používají kalené nebo pochromované nástroje. Musí být materiál nástroje zvolen tak, aby byl dobrým nositelem lapovacího prostředku, zachoval svůj tvar po celou dobu práce a u chemicko-mechanického lapování odolával chemickému působení lapovacího prostředku. Měkké nástroje umožňují zamáčknutí brusiva do jejich činné části. Obvykle se používají nástroje pro velmi jemné lapování z kalené oceli nebo tvrdě chromovaných nástrojů. [7], [9]

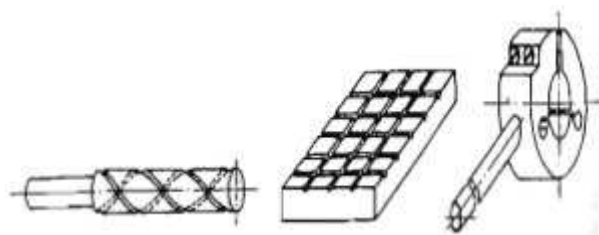


*Obr.11 Lapovací kotouče [8]*

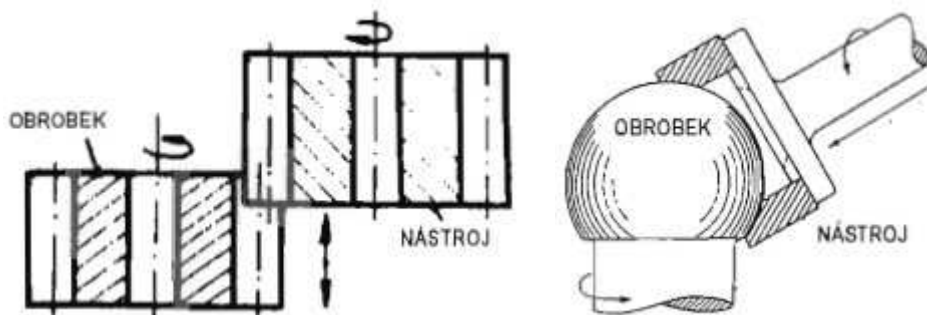
Lapovací nástroje jsou určeny tvarem lapované plochy. Jsou to lapovací desky (pohybuje se obrobek) nebo destičky (pohybuje se nástroj) pro rovinné plochy, lapovací prstence pro vnější rotační plochy, lapovací trny pro vnitřní plochy (obr.13). Na strojní lapování rovinných ploch se používají litinové lapovací kotouče nebo brousicí kotouče s vázaným brusivem a keramickou vazbou, pro rotační plochy se používá bezhrotý zapichovací nebo průběžný způsob a přitom je nástrojem zase kotouč s brusivem v keramické vazbě. Jsou kladeny vysoké požadavky na přesnost rozměrů a geometrického tvaru lapovacích nástrojů. Např. při strojním lapování otvorů je nutno vyloučit opotřebení trnů jejich přestavováním po celé délce (podobně seřizování honovacích hlav, stavěcích či rozpínacích výstružníků). U otvoru pro vylapování je třeba sady několika pevných trnů s odstupňovanými průměry. Ke strojnímu lapování vnějších válcových ploch a děr větších rozměrů se používá honovacích hlav s litinovými (ocelovými) lištami místo brousících kamenů. [7]



Obr.12 Princip úběru [7]



Obr.13 Ruční nástroje [7]



Obr.14 Lapování tvarových ploch [7]

Brusiva pro lapování měkké i kalené oceli se nejčastěji používá umělý korund. Pro lapování keramiky, litiny, skla, polovodičových materiálů, karbid křemíku. Při lapování velmi tvrdých materiálů, jako např. slinutých karbidů, jsou vhodné diamantové mikroprašky nebo karbid bóru, případně mikroprašky z kubického nitridu bóru. [8]

Zrnitost brusiva se volí podle výchozí, požadované konečné drsnosti a také podle přídavku na lapování. Používají se zrnitosti od  $40 \mu m$  do  $1 \mu m$ . Velmi důležitý bývá tvar brusiva. Zrna by měli být izometrická a musí mít velkou rovnoměrnost granulometrického složení. U velmi jemného lapování se také užívá železa ( $Fe_2O_3$ ) nebo oxid chrómu ( $Cr_2O_3$ ), vídeňské vápno ( $CaMgCO_3$ ). Nositelem volného brusiva je nejčastěji bývá petrolej s přídavkem oleje a tři až pět procentní kyseliny olejové (olein), olej s přídavkem živočišného nebo rostlinného oleje. Pro jemné lapování litiny se někdy používá nafta, benzín, pro vysoký lesk kalené oceli lín s vídeňským vápnem apod. [7]

Lapovací pasty mívají různé složení. Kromě brousících zrn obsahují živočišné tuky nebo petrolej, oleje, některé druhy kyselin (kyselinu olejovou, stearinovou apod.) kyselina narušuje mikroskopické vrstvy lapované plochy, která lze pak snadněji obrousit. Důležitou

vlastností nositele volného brusiva je mazací schopnost, neboť jinak může dojít při lapování k zadření obrobku a nástroje. [7], [9]

Musí se po ukončení práce odstranit zbytky lapovacího prostředku – k tomu se používá perchloretylen, benzín, trichloretylen a alkalická odmašťovadla. [9]

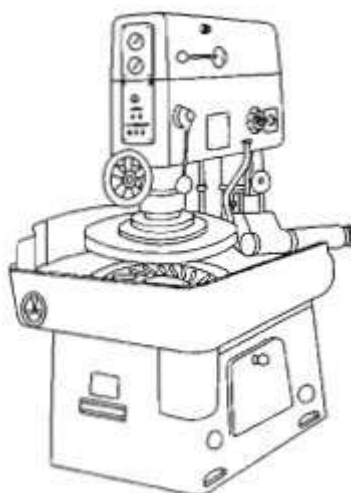
Před lapováním je většinou operace broušení, po kterém se ponechávají pro lapování přídavky, které musí být větší než odchylky od geometrického tvaru a navíc zvětšené o 20 % až 50 % maximální hodnoty nerovností  $R_z$  předem obrobené plochy. Obvykle se tyto přídavky pohybují v rozmezí 0,005 mm až 0,03 mm. [7]

Při vysokých požadovaných kvalitativních parametrech a větších přídavcích je výhodné použít víceetapové lapování, při kterém se postupně zmenšuje zrnitost brusiva, pracovní rychlost a přitlačný tlak. [7]

#### **Základní faktory, které řídí proces lapování, jsou:**

- přitlak  $p$  [MPa] (tlak v místě styku lapovacího nástroje s obrobkem),
- rychlost pracovního pohybu  $v_1$  [ $m \cdot min^{-1}$ ],
- doba lapování  $t_1$  [min]. [7]

Pro lapování hrubovací kalené oceli je optimální přitlak 0,1 MPa až 0,2 MPa pro jemné lapování 0,05 MPa až 0,1 MPa. Při lapování měkkých materiálů je doporučený přitlak 0,02 MPa až 0,03 MPa, u křehkých materiálů pouze 0,005 MPa až 0,02 MPa. [7]



*Obr.15 Lapovačka [7]*

Docilovaná drsnost povrchu při lapování závisí nejvíce na zrnitosti brusiva. Podíl lapovaných nosných povrchů je mnohem větší než při jemném broušení. Např. při jemném broušení při drsnosti  $R_a = 0,16 \mu m$  je nosný podíl 30 %, po lapování na stejnou drsnost se dosahuje nosný podíl kolem 80 %. Hodnoty dosahovaných drsností a přesností povrchu IT 1 až 6,  $R_a = 0,005 \mu m$  až  $0,4 \mu m$ . [7]

## 2.2.4 Druhy lapování

- **Rovinné lapování**

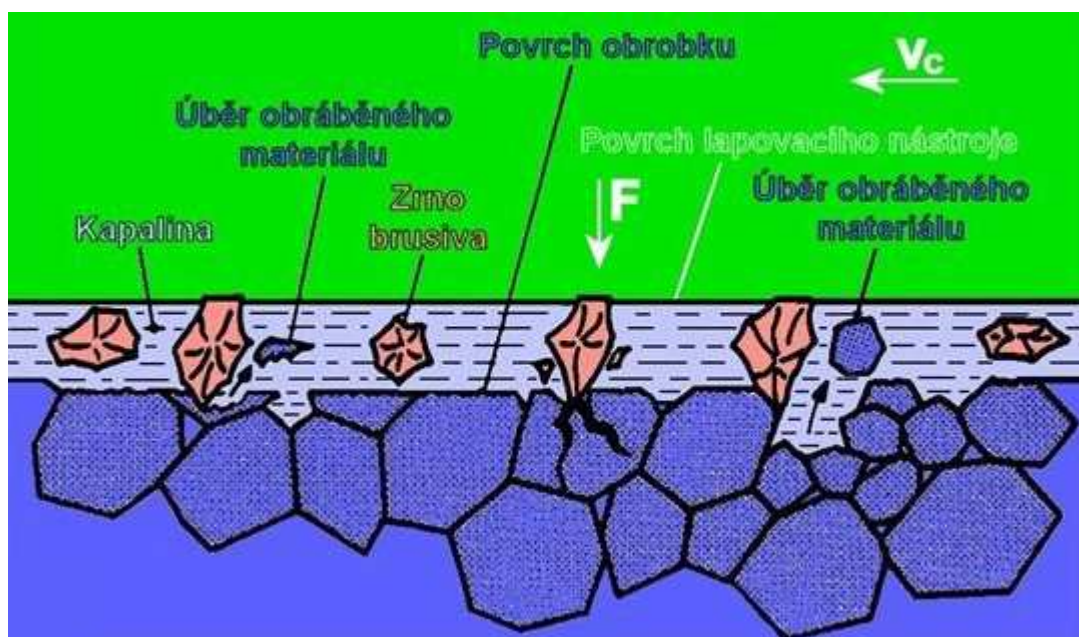
Slouží k výrobě rovinných ploch a provádí se postupem jednokotoučového nebo dvukotoučového lapování. [10]

- **Dvukotoučovým lapováním**

U dvukotoučového způsobu leží ploché obrobky v kruhovém unašeči mezi dvěma protiběžnými lapovacími kotouči. Unašeč obrobkům uděluje dostatečný otáčivý pohyb tak, že kotouče nezanechávají kruhovitě stopy po lapování. [10]

- **Jednokotoučovým lapováním**

U jednokotoučového lapování přiléhá obrobek na otáčející se lapovací kotouč a mírným tlakem se pohybuje v radiálním směru tam a sem, tzn. otáčí se a kmitá. [10]



Obr.16 Princip úběru při lapování [11]

- **Lapování vnějších válcových ploch**

Plochy vnějších válcových obrobků mohou být obráběny na dvoukotoučových lapovačkách. Tangenciálně leží obrobky v kruhovém unašeči a získávají jeho excentrickým pohybem vysokou přesnost tvaru. [10]

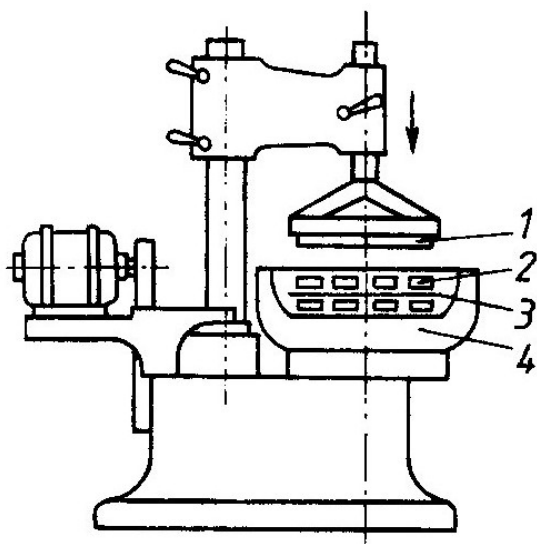
- **Ruční lapování**

K lapování válcových vnějších ploch slouží lapovací kroužek. Obrobek získá svůj otáčivý pohyb od vrtačky nebo soustruhu a kroužek se stlačí pomocí svěrky a pohybuje se v axiálním směru. [10]

## 2.2.5 Stroje

Lapovací stroje se dělí na

- **univerzální**, ty mohou být horizontální, vertikální nebo bezhroté, určené pro obrábění rovinných, vnějších nebo vnitřních válcových ploch (příklad vertikálního univerzálního stroje na lapování rovinných ploch je na obr.17 a příklad na lapování válcových ploch horizontálního stroje je na obr.18); [9]



Obr.17 Univerzální vertikální stroj na lapování rovinných ploch [9]

- 1 – horní lapovací kotouč,
- 2 – lapované obrobky,
- 3 – maska,
- 4 – dolní lapovací kotouč

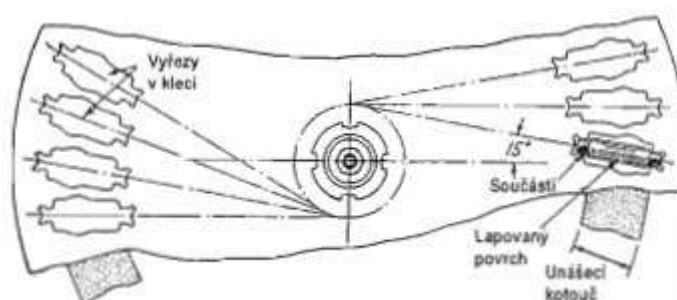


Obr.18 Horizontální stroj na lapování válcových ploch [9]

- **speciální**, určené pro lapování určitého druhu součástí, například pro čepy klikových hřídelí, valivých tělísek pro ložiska, kuliček a pro lapování boků zubů ozubených kol apod. obr.14. [7], [9]

Lapovací stroje mohou pracovat v automatickém nebo poloautomatickém cyklu. [9]

Pro lapování vnějších rovinných a válcových ploch se nejvíce používají dvoukotoučové lapovací stroje se svislými osami kotoučů (obr.15). Pracovní otáčky vykoná buď jeden kotouč (spodní) nebo oba. Kotouč hnací je výkyvný, aby se jeho plocha mohla přizpůsobit ploše dolního kotouče a byla s ní rovnoběžná. Tlak je vyvozován hydraulicky nebo vahou horního kotouče. Mezi oba kotouče je vložena unašecí deska s otvory přizpůsobenými tvaru lapovaných součástek. Unašecí deska je excentrem vychylována, aby se pohybovaly součásti po takových drahách, které pokryjí celý povrch lapovacího kotouče a nedocházelo k jeho nerovnoměrnému opotřebení (obr.19). [7]



Obr.19 Unašecí deska [7]

Ke strojnímu lapování se součásti nesmějí lišit v toleranci více než o 5  $\mu\text{m}$ , a proto se před lapováním musí třídit na skupiny v téže toleranci. [7]

Používají se stroje pro lapování otvorů se svislým vřetenem, pro dlouhé otvory s vřetenem vodorovným. [7]

## 2.2.6 Pracovní podmínky

Pro úspěšné lapování je předpokladem dokonalé předchozí obrobení plochy, která se má lapovat. Používají se operace broušení, vystružování, jemné soustružení, jemné vyvrtávání, příp. jemné frézování. [9]



Tab. 2 Volba přídavku na lapování [9]

Druh plochy	Jenostupňové lapování	Dvoustupňové lapování
Rovinná	5 $\mu m$ až 20 $\mu m$	až 100 $\mu m$
Válcová	do 10 $\mu m$ na průměr	do 100 $\mu m$ na průměr

Hodnoty orientačních řezných rychlostí při strojním lapování jsou uvedeny v tab. 3. Při ručním lapování válcových ploch, kdy se pohybuje nástrojem ručně, má součást otáčející se obvodovou rychlost 6  $m.min^{-1}$  až 30  $m.min^{-1}$ . [9]

Tab. 3 Orientační hodnoty řezných rychlostí při lapování [9]

Druh plochy a způsob práce	Hrubovací lapování ( $m.min^{-1}$ )	Lapování načisto ( $m.min^{-1}$ )	Jemné leštící lapování ( $m.min^{-1}$ )
Lapování rovinných ploch kotouči	250-380	150-280	10-100
Lapování otvorů	-	50-120	4-50
Vnější lapování hřídelů kroužky	-	50-120	6-60
Vnější lapování hřídelů kotouči	-	-	50-90

Důležité pravidlo: *Suspenzi (kapalinu nebo pastu) je nutné volit tak, aby se brousící zrna lepila na nástroj a mezera mezi obrobkem a nástrojem byla rovna střední velikosti zrn.* [9]

### 2.2.7 Dosahované parametry

Přesnost tvarů, rozměrů a jakost obrobeného povrchu dosahované operací lapování jsou přehledně uvedeny v tab. 4. [9]

### 2.2.8 Zvláštní způsoby lapování

Lapování v magnetickém poli využívá působení magnetického pole na lapovací prostředek, používá se tato metoda především pro lapování velmi složitých tvarů. [9]

Nástroj koná při ultrazvukovém lapování kromě již zmíněných pohybů ještě kmitavý pohyb o frekvenci 18 kHz až 22 kHz. Používá se např. při ručním lapování. [9]

Tab. 4 Dosahovaná jakost lapovaných ploch [9]

Ukazatel jakosti	Přesnost rozměrů			Tvarová přesnost ( $\mu m$ )			Drsnost povrchu Ra ( $\mu m$ )		
	velmi jemné	jemné	normální	velmi jemné	jemné	normální	velmi jemné	jemné	normální
Vnější válcové plochy	IT 1	IT 3	IT 5	0,05	0,1	0,6	0,025	0,05	0,1
	až	až	až	až	až	až	až	až	až
	IT 2	IT 4	IT 6	0,1	0,5	1,0	0,05	0,1	0,2
Otvory	IT 1	IT 3	IT 4	0,05	0,1	0,5	0,005	0,05	0,1
	až	až	až	až	až	až	až	až	až
	IT 3	IT 4	IT 6	0,1	0,5	1,0	0,05	0,1	0,4
Rovinné plochy	IT 1	IT 3	IT 4	0,03	0,05	0,6	0,005	0,05	0,1
	až	až	až	až	až	až	až	až	až
	IT 3	IT 4	IT 6	0,05	0,5	1,0	0,05	0,1	0,4

### 3. Návrh nového řešení obrábění vybrané součásti

#### 3.1 Proces lapování

- Součástky ze sinteringu



*Obr.20 Součástky v plechových krabicích*

- Naložení do lapovacích klecí



*Obr.21 Součástky naložené v lapovacích klecích*

- Procesní nastavení – nastavení tloušťky podle loskarty. Nastavení stroje.
- Vložení lapovacích klecí do lapovačky + kontrola správného naložení.



*Obr.22 Lapovačka s vloženými lapovacími klecemi*

- Start lapování, předzátěž 0 daN, max. zátěž 300 daN, doběh.
- Naložení slapovaných kusů na lapovací síto, přikrytí kusů druhým sítem.
- Mytí v mycí lince.



*Obr.23 Mycí linka*



- Naložení součástek na nerezové síta.
- Přehřátí součástek v demi vodě.
- Sušení součástek ve vakuové sušičce.



*Obr.24 Vakuová sušička*

- Závěrečné sušení.



*Obr.25 Sušící pec*

## 4. Diskuze experimentálních prací

Cílem bakalářské práce je zvýšit produktivitu lapování, proto jsme se zamysleli nad možností jak zvýšit produkci a spojit to se šetřením nákladů a udržet nejméně stejnou kvalitu vyráběných součástek.

První důležitý vliv na rychlost lapování má hlavní lapovací tlak, který ovlivňuje kvalitu a zmetkovitost (praskající kusy).

Druhý vliv na zvýšení produktivity lapování jsme si vybrali možnost navýšit počet otvorů v lapovací kleci.

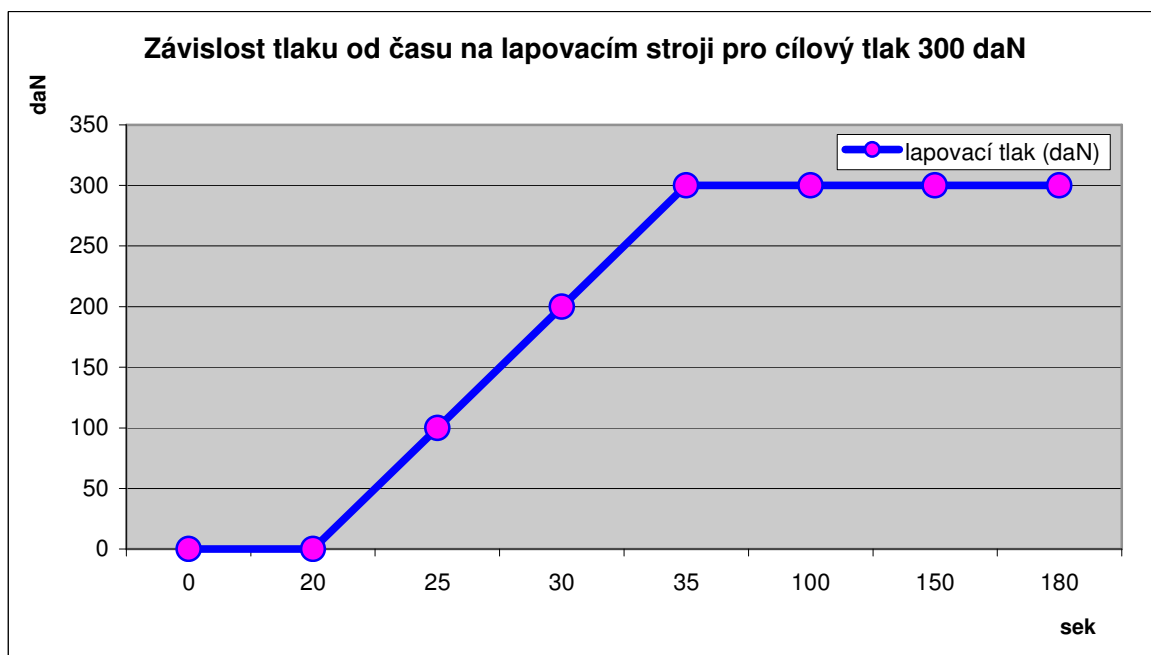
Za poslední možnost pro zvýšení produktivity je lapovací směs, která je používána při lapování (karbid křemíku).

V plechových krabicích byly přivezeny součástky na paletě k lapování, spolu s loskartou, aby nedošlo k záměně. Součástky a dokumenty se museli zkontrolovat. Použili jsme gumové rukavice jako ochranu proti mastnotě a vlhku. Rozložili jsme na pracovním stole šest předávacích lopatek s lapovacími klecemi, umístili jsme do nich součástky. Pomocí předávací lopatky jsme součástky v kleci vložili do stroje, aby lapovací klece držely ve stroji. Všechny součástky jsme zkontrolovali zda jsou v klecích a pokropili vodou. Prostřední pohon se spustil a zkontrolovalo se, zda jsou součástky správně umístěné v klecích (pokud jsou špatně umístěny, tak z klecí vyskáčou). Provedli jsme to z důvodu, abychom zabránili komplikaci při startu lapovacího stroje a zlomení dílů. Jinak by nebyl start možný. Pootočí se horní lapovací kotouč na doraz a drží se, dokud není stroj nastartován. Zmáčkli jsme na lapovacím stroji tlačítko start zároveň se stopkami. Vypne se horní lapovací kotouč asi 3 mm před dosednutím lapovacího kotouče na součástky a přepne se na rozběhovou zátěž, horní lapovací kotouč před roztočením musí vždy dosednout na součástky, jinak ve stroji dojde ke zlomení a všechny lapovací rámy by mohly být zničeny.

Museli jsme dát pozor na nastavení: předběžné zatížení 0 daN. Čas předběžného zatížení cca 30 s.

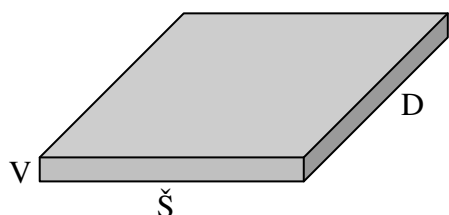
Předzátěž je 0 daN, protože při najíždění horního lapovacího kola na kusy dochází k praskání kusů.

Nájezd tlaku a průběh lapování znázorňuje následující graf:



Obr.26 Graf závislosti tlaku od času na lapovacím stroji pro cílový tlak 300 daN

Rozměry materiálu, který jsme lapovali:  $D \times \check{S} \times V = 55 \pm 5 \times 30 \pm 10 \times 1,5 \pm 0,5$  mm



Obr.27 PTC substrát po výpalu

Úběr materiálu lapováním se pohyboval 0,2-0,3 mm z každé strany.

Lapovací stroj začíná lapovat s předzátěží 0 daN, pomocí otáček dolního a horního lapovacího kotouče a prostředního pohonu.

Po uplynutí předzátěžové doby se automaticky stroj přepne na hlavní zátěž (nastavení max. 250 daN). Automaticky se vypne lapovací stroj po dosažení lapovací výšky pomocí měřicího zařízení. Upevnění součástek v lapovacích klecích udrží dokončovací zátěž (aby součástky nevyskákali z lapovacích klecí), zvedne se potom horní lapovací kotouč od spodního. Kdy při odjezdu horního lapovacího kotouče jsme na stopkách zmáčkli tlačítko stop a do tabulky jsme zapsali čas lapování, tohle stopování jsme prováděli pro různé součástky z označením materiál A až po materiál D.

Nastavené parametry pro lapovací stroj byly nadefinovány a v mých testech jsme měnili už jenom hlavní lapovací tlak. V bodě a) vliv hlavního lapovacího tlaku

na rychlost lapování jsme v testu č. 1 až v testu č. 4 měnili hlavní tlak a to na 200 daN, 250 daN a 300 daN. Dále jsme v bodě b) zvýšení počtu otvorů v lapovacích klecích využili jenom tlak 300 daN. Při kterém jsme v testu č. 5 použili nové klece s větším počtem otvorů a staré lapovací klece. V nových lapovacích klecích bylo 20 pozic na součástky a ve starých lapovacích klecích bylo 18 pozic na součástky, jak jde vidět na obr.38. V posledním bodě c) použití SiC s většími granulemi F360 jsme chtěli zvýšit produktivitu. Ve firmě se používá zrnitost F400 kterou jsme porovnali se zrnitostí F360 při hlavním tlaku 200 daN. Také jsme v tomhle bodě porovnali střední aritmetickou úchylku posuzovaného profilu na lapovaném materiálu C s SiC F400 a F360 a součet výšky  $Z_p$  nejvyššího výstupku profilu a hloubky na lapovaném materiálu C s SiC F400 a F360.

Při doběhu stroje jsme postříkali horní lapovací kotouč sprchou. Součástky jsme pak ostříkali též sprchou, jinak usazeniny z lapování ulpívají pevně na součástkách. Snažili jsme se tím zabránit zanesení kanálků lapovacího stroje.

Spustili jsme dolu vnější věnec a zasunuli jsme spodní síto do předávacího stolu. Najeli jsme předávacím stolem ke spodnímu lapovacímu kotouči. Pro lapovací stroj (obr.28) najíždí předávací stůl k spodnímu lapovacímu kotouči po zmáčknutí spínače na čele stolu. Na podávací stůl jsme si položili dolní mřížku mycí linky na kterou jsme přesunuli součástky naložené v lapovacích klecích. Horní mřížka mycí linky se položí na dolní a uzavře, aby kusy během mytí nevyskákali ze síta. Mřížka se po uzavření zasunula do mycí cesty. Přes spínací kontakt se mřížka posune do mycí linky, kde mříž probíhá s díly mycí linkou automaticky a na konci je připravena k odběru součástek.



*Obr.28 Lapovací stroj*



### a) Vliv hlavního lapovacího tlaku na rychlost lapování

V tomto testu chceme zvýšením hlavního lapovacího tlaku zvýšit produktivitu lapování. Při zvyšování hlavního lapovacího tlaku musíme také kontrolovat zmetkovitost praskajících kusů. Praskání kusů dochází z důvodu prohnutí, které vzniká při výpale výlisků.

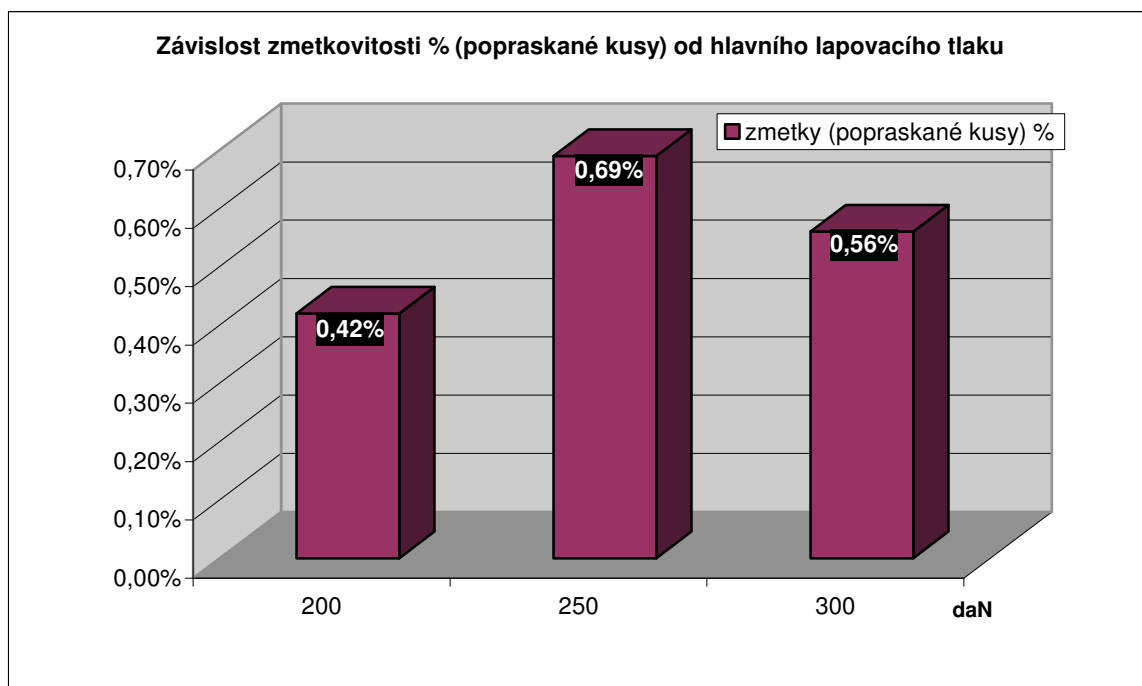
Výsledkem testů bude najít kompromis mezi produktivitou a zmetkovitostí co se týče po finanční stránce.

#### Test č. 1

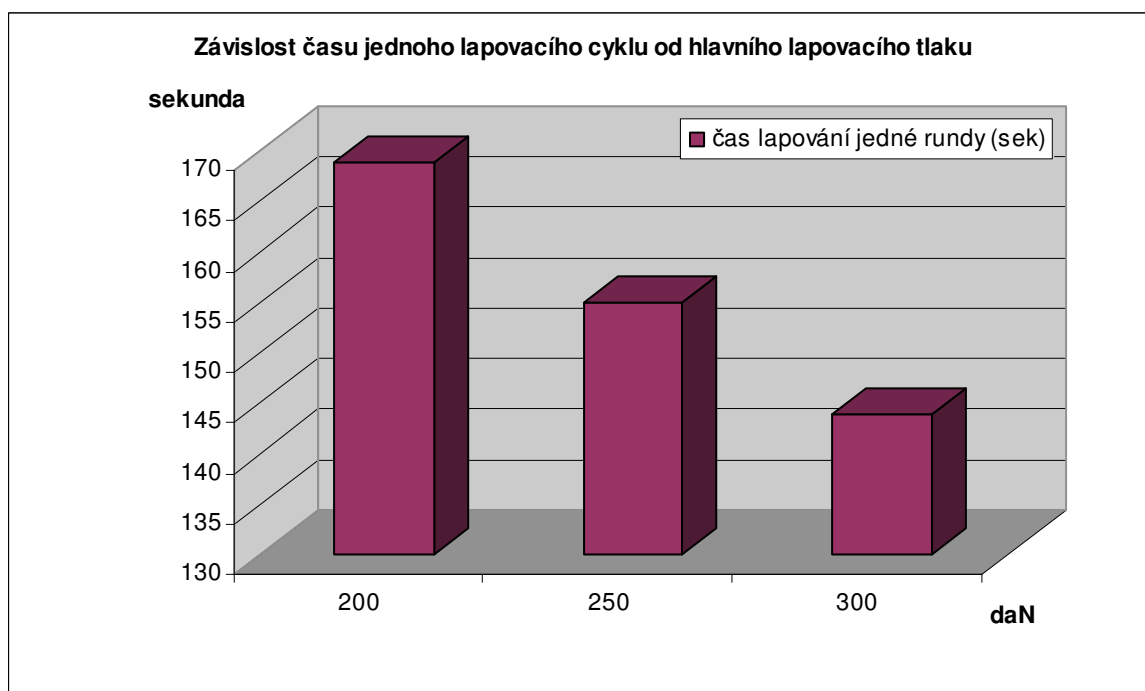
Materiál A, 24 kusů v kleci.

Tab. 5 Data rychlostí lapovacího cyklu a zmetkovitosti na základě rozdílného tlaku

Runda	Hlavní tlak (daN)	Počet kusů v rundě	Čas lapování (sek)	Zmetky (popraskané kusy)	Zmetky (popraskané kusy) %	Průměrný čas lapování (sek)
1	300	144	139	0	<b>0,56%</b>	<b>144,2</b>
2		144	150	0		
3		144	147	0		
4		144	144	0		
5		144	141	4		
1	250	144	157	0	<b>0,69%</b>	<b>154,8</b>
2		144	158	1		
3		144	154	1		
4		144	153	1		
5		144	152	2		
1	200	144	176	0	<b>0,42%</b>	<b>169,4</b>
2		144	160	0		
3		144	168	2		
4		144	172	1		
5		144	171	0		



*Obr.29 Graf závislosti zmetkovitosti % (popraskané kusy) od hlavního lapovacího tlaku*



*Obr.30 Graf závislosti času jednoho lapovacího cyklu od hlavního lapovacího tlaku*

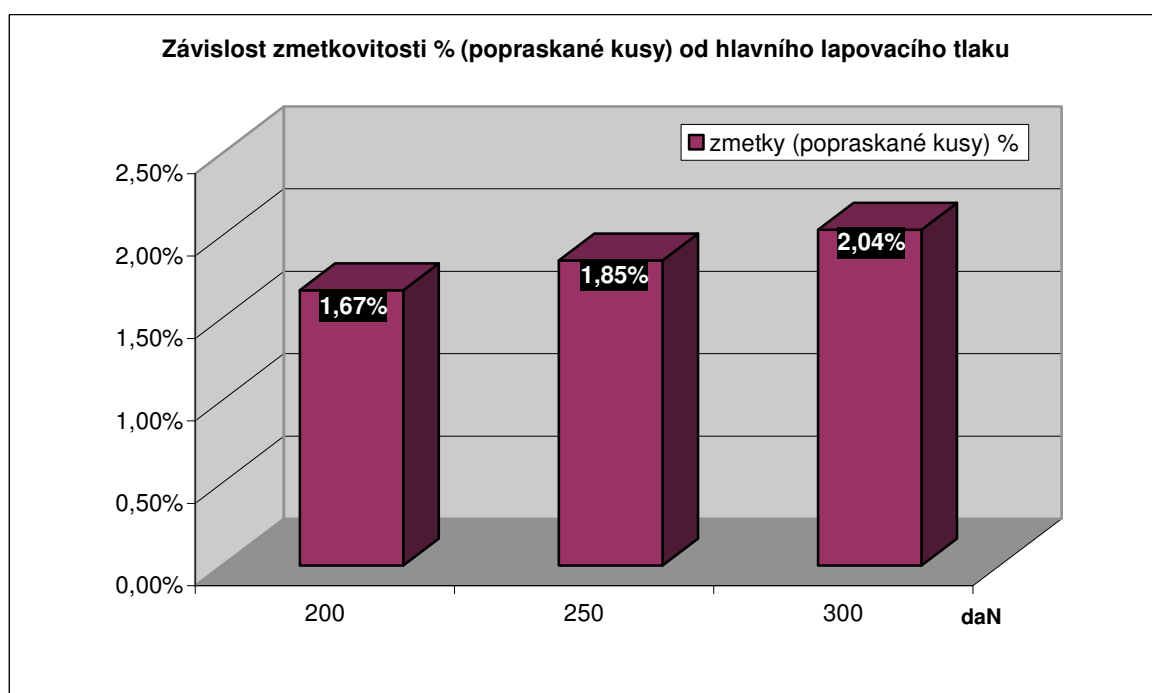
Výsledkem testu č. 1 je sice zvýšení zmetkovitosti u použitém tlaku 300 daN o 0,14 % (obr.29), ale také jsme zvýšili produktivitu o 17,5 % (obr.30). Výsledné porovnání co se týče úspor bude uvedeno v technicko-ekonomickém zhodnocení.

## Test č. 2

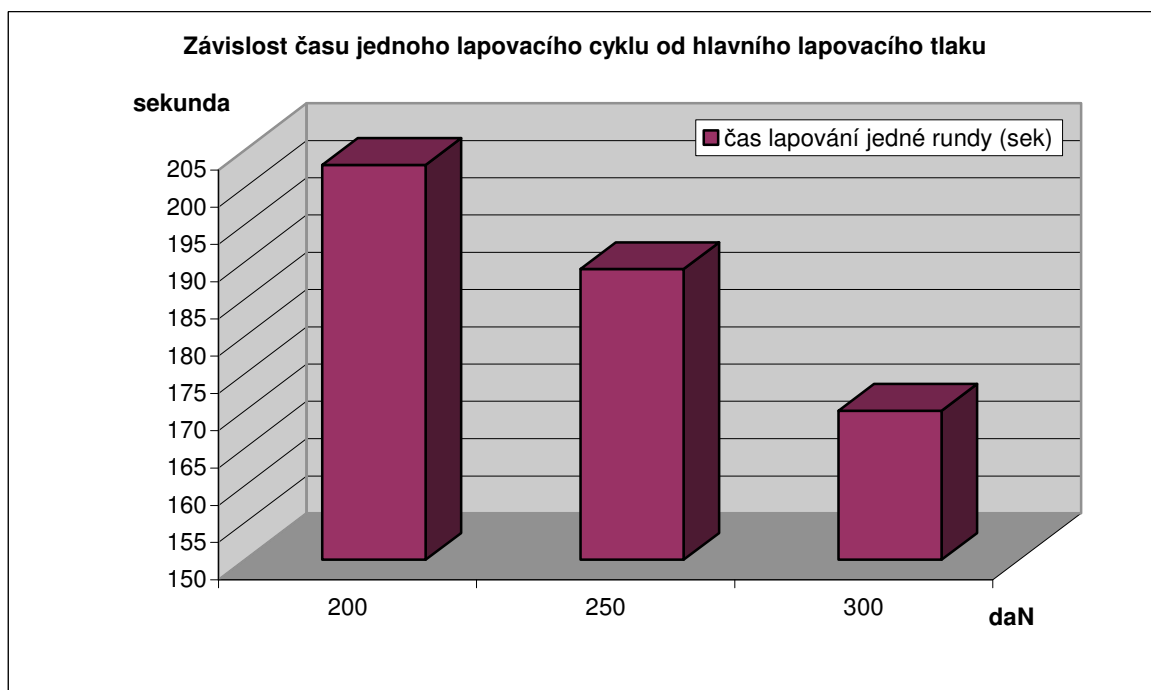
Materiál B, 18 kusů v kleci.

Tab. 6 Data rychlostí lapovacího cyklu a zmetkovitosti na základě rozdílného tlaku

Runda	Hlavní tlak (daN)	Počet kusů v rundě	Čas lapování (sek)	Zmetky (popraskané kusy)	Zmetky (popraskané kusy) %	Průměrný čas lapování (sek)
1	300	108	169	2	<b>2,04%</b>	<b>170,2</b>
2		108	176	1		
3		108	172	2		
4		108	169	3		
5		108	165	3		
1	250	108	193	2	<b>1,85%</b>	<b>188,6</b>
2		108	191	3		
3		108	193	1		
4		108	190	2		
5		108	176	2		
1	200	108	203	2	<b>1,67%</b>	<b>202,8</b>
2		108	202	2		
3		108	201	1		
4		108	206	2		
5		108	202	2		



Obr.31 Graf závislosti zmetkovitosti % (popraskané kusy) od hlavního lapovacího tlaku



Obr.32 Graf závislosti času jednoho lapovacího cyklu od hlavního lapovacího tlaku

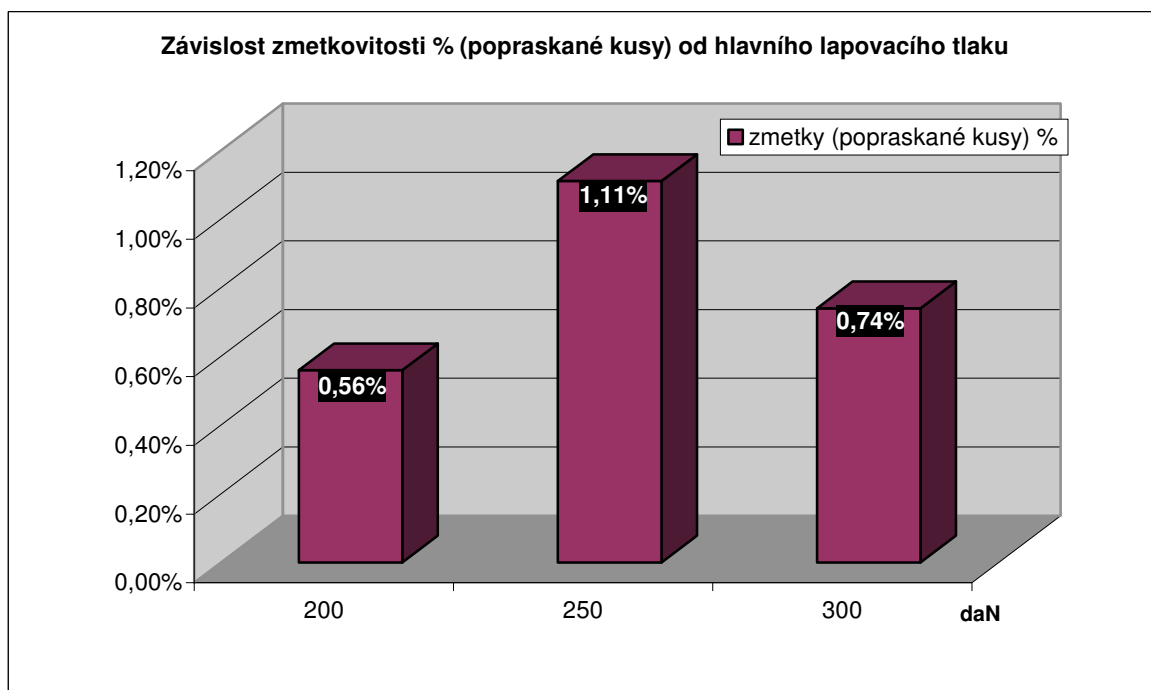
Výsledkem testu č. 2 je sice zvýšení zmetkovitosti u použitém tlaku 300 daN o 0,37 % (obr.31), ale také jsme zvýšili produktivitu o 19,2 % (obr.32). Výsledné porovnání co se týče úspor bude uvedeno v technicko-ekonomickém zhodnocení.

### Test č. 3

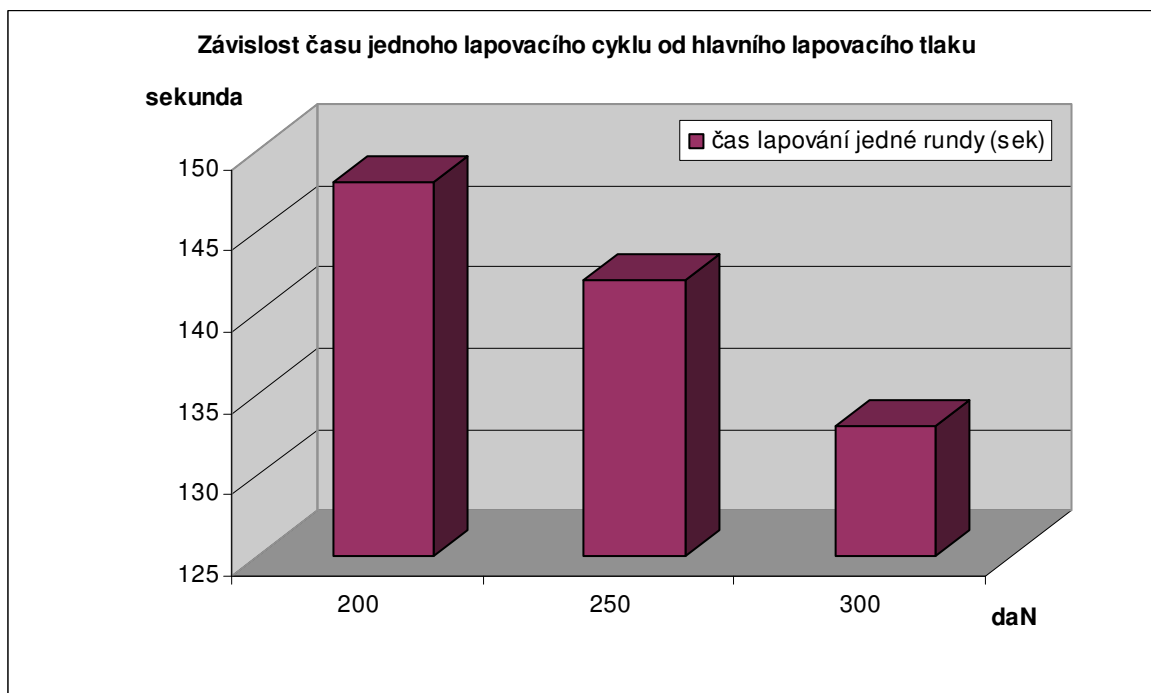
Materiál C, 18 kusů v kleci.

Tab. 7 Data rychlostí lapovacího cyklu a zmetkovitosti na základě rozdílného tlaku

Runda	Hlavní tlak (daN)	Počet kusů v rundě	Čas lapování (sek)	Zmetky (popraskané kusy)	Zmetky (popraskané kusy) %	Průměrný čas lapování (sek)
1	300	108	133	0	<b>0,74%</b>	<b>133</b>
2		108	133	1		
3		108	132	2		
4		108	135	0		
5		108	132	1		
1	250	108	144	1	<b>1,11%</b>	<b>142</b>
2		108	141	0		
3		108	142	1		
4		108	141	2		
5		108	140	2		
1	200	108	146	1	<b>0,56%</b>	<b>148</b>
2		108	147	0		
3		108	148	1		
4		108	150	0		
5		108	149	1		



*Obr.33 Graf závislosti zmetkovitosti % (popraskané kusy) od hlavního lapovacího tlaku*



*Obr.34 Graf závislosti času jednoho lapovacího cyklu od hlavního lapovacího tlaku*

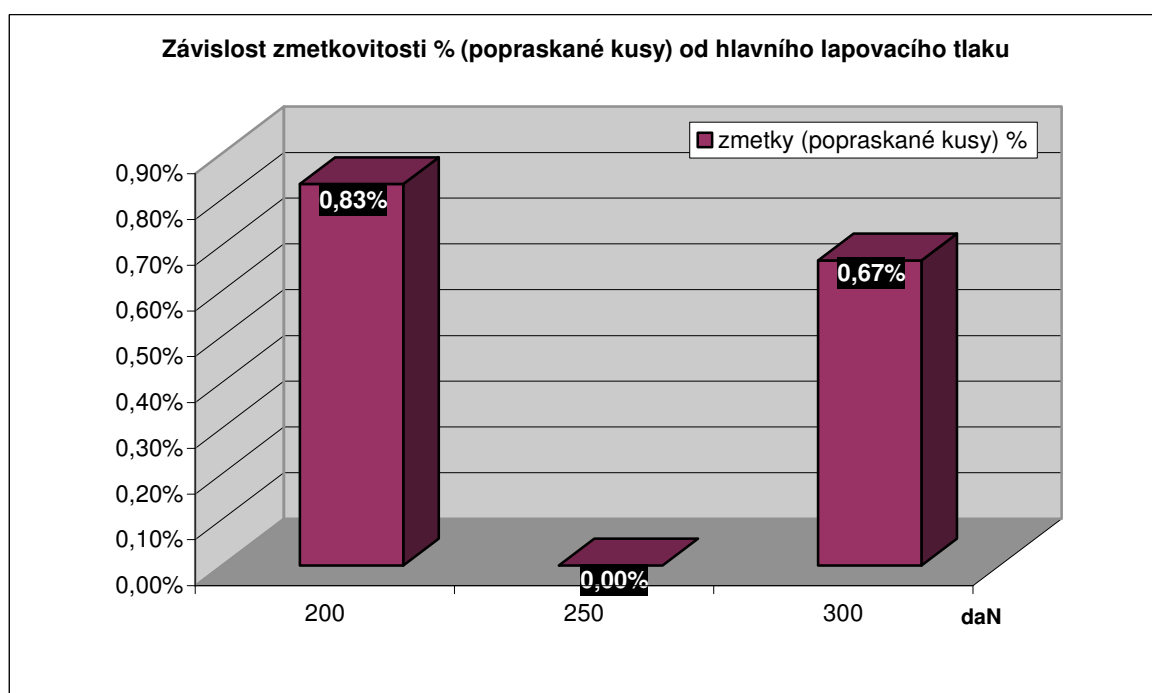
Výsledkem testu č. 3 je sice zvýšení zmetkovitosti u použitém tlaku 300 daN o 0,18 % (obr.33), ale také jsme zvýšili produktivitu o 11,3 % (obr.34). Výsledné porovnání co se týče úspor bude uvedeno v technicko-ekonomickém zhodnocení.

## Test č. 4

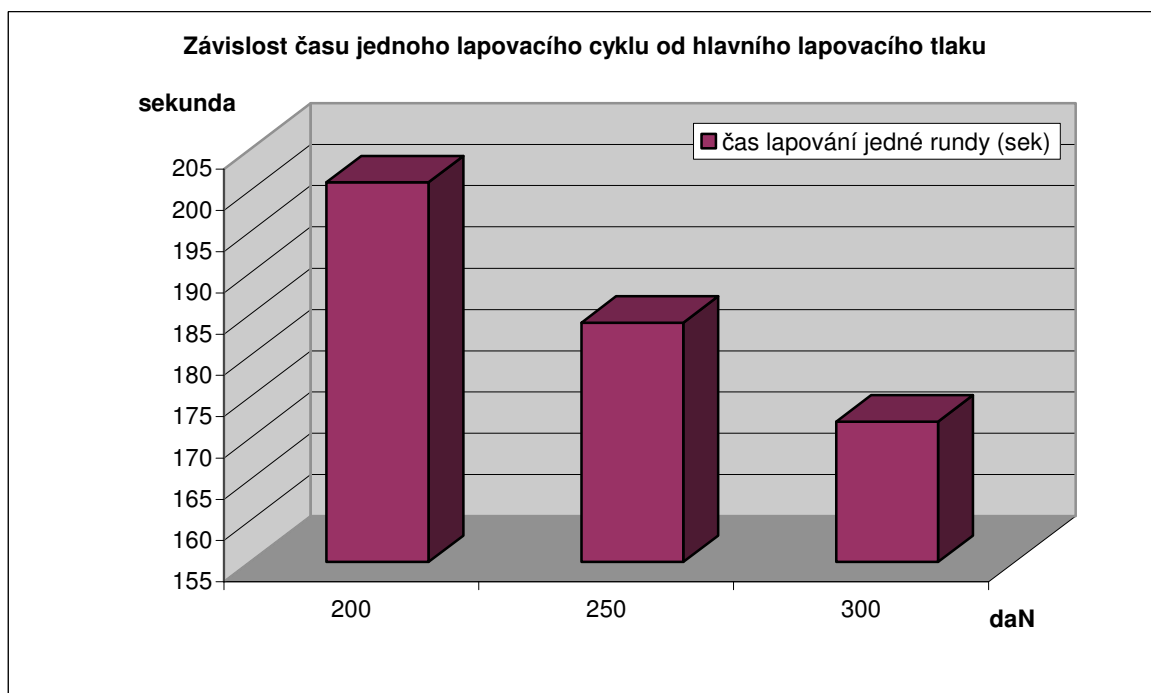
Materiál D, 20 kusů v kleci.

Tab. 8 Data rychlostí lapovacího cyklu a zmetkovitosti na základě rozdílného tlaku

Runda	Hlavní tlak (daN)	Počet kusů v rundě	Čas lapování (sek)	Zmetky (popraskané kusy)	Zmetky (popraskané kusy) %	Průměrný čas lapování (sek)
1	300	120	177	1	<b>0,67%</b>	<b>172,2</b>
2		120	168	0		
3		120	167	2		
4		120	173	0		
5		120	176	1		
1	250	120	195	0	<b>0,00%</b>	<b>184,4</b>
2		120	176	0		
3		120	174	0		
4		120	185	0		
5		120	192	0		
1	200	120	196	0	<b>0,83%</b>	<b>201,2</b>
2		120	199	1		
3		120	196	1		
4		120	194	1		
5		120	221	2		



Obr.35 Graf závislosti zmetkovitosti % (popraskané kusy) od hlavního lapovacího tlaku



*Obr.36 Graf závislosti času jednoho lapovacího cyklu od hlavního lapovacího tlaku*

Výsledkem testu č. 4 je snížení zmetkovitosti u použitém tlaku 300 daN o 0,16 % (obr.35). Snížení zmetkovitosti považujeme za náhodné, protože je logické, že zvýšením tlaku se zvyšuje možnost praskání součástek. Zvýšením tlaku jsme zvýšili produktivitu o 16,8 % (obr.36). Výsledné porovnání co se týče úspor bude uvedeno v technicko-ekonomickém zhodnocení.

## b) Zvýšení počtu otvorů v lapovacích klecích

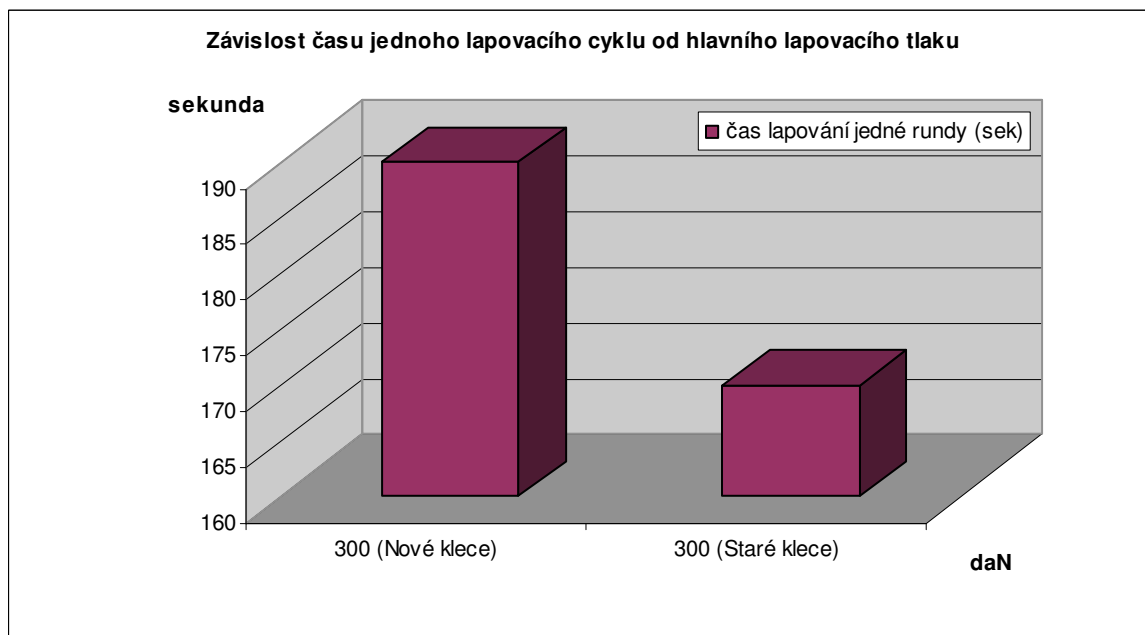
Záměrem zvýšení počtu otvorů v lapovací kleci je zvýšit produktivitu lapování. Při zvýšení počtů kusů na jednu rundu při stejném lapovacím tlaku nám stoupne lapovací čas jedné rundy, ale ten budeme muset navýšit, tak aby tlak působící na jeden kus byl stejný. Tím dosáhneme stejnou délku lapování, ale olapujeme o navýšené množství kusů víc.

### Test č. 5

Materiál B, 18 kusů v kleci (108 kusů v rundě), 20 kusů v kleci (120 kusů v rundě).

Tab. 9 Data rychlostí lapovacího cyklu

Runda	Poznámka	Počet kusů v rundě	Čas lapování (sek)	Průměrný čas lapování (sek)
1	Nové klece - 20 pozic v kleci (tlak 300 daN)	120	190	<b>190</b>
1	Staré klece - 18 pozic v kleci (tlak 300 daN)	108	169	<b>170</b>
2		108	176	
3		108	172	
4		108	169	
5		108	165	



Obr.37 Graf závislosti času jednoho lapovacího cyklu od hlavního lapovacího tlaku





*Obr.38 Lapovací klece*

Výsledkem testu č. 5 je snížení produktivity o 11,6 % (obr.37) při stejném lapovacím tlaku. Jenže při navýšení počtu kusů v lapovací kleci můžeme navýšit také hlavní lapovací tlak, protože se úměrně rozloží na všechny součástky. Počet kusů v kleci se navýšil o 10 %, takže výsledkem toho bude zvýšení hlavního lapovacího tlaku o 10 % (na 330 daN), potom budeme mít produktivitu o 10 % vyšší. Z tab. 9 je vidět že jsme pro nové klece provedli jenom jeden test. Protože součástky šli špatně vkládat do nových lapovacích klecí. Z toho důvodu jsme museli součástky přebírat podle toho, které součástky se do vhodných okének v lapovacích kleci vejdou, aby při spuštění stroje součástky nevyskákaly z lapovacích klecí. Jelikož by další čtyři testy brzdily provoz na celém pracovišti, tak se udělal jenom jeden test. Výsledné porovnání co se týče úspor bude uvedeno v technicko-ekonomickém zhodnocení.

### c) Použití SiC s většími granulemi F360

Použitím SiC se zrnitostí F360 chceme zvýšit produktivitu lapování při ještě stále vyhovující drsnosti.

Větší zrnitost znamená rychlejší lapování.

#### Test č. 6

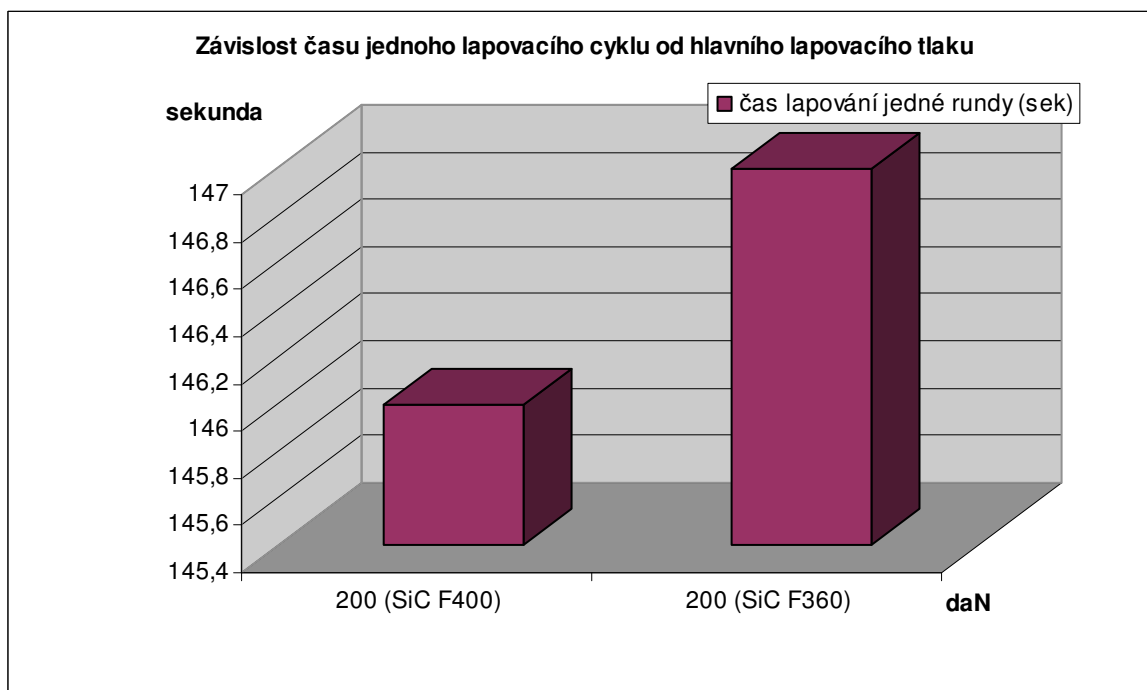
Tab. 10 Zrnitostí FEPA [12]

Specifikace zrnitosti : F240-F1200			
Označení zrnitosti	DS3 MAX. hodnota $\mu m$	DS50 Median zrnitosti $\mu m$	DS94 MIN. hodnota $\mu m$
F240	72.6	$42.0 \pm 2.0$	28.3
F280	61.1	$34.5 \pm 1.5$	22.1
F320	50.6	$27.7 \pm 1.5$	16.5
<b>F360</b>	<b>41.1</b>	<b><math>21.6 \pm 1.5</math></b>	<b>11.9</b>
<b>F400</b>	<b>32.7</b>	<b><math>16.5 \pm 1.0</math></b>	<b>7.9</b>
F500	25.3	$12.3 \pm 1.0$	4.8
F600	19.0	$9.0 \pm 1.0$	2.8
F800	13.8	$6.3 \pm 1.0$	1.7
F1000	9.6	$4.5 \pm 0.8$	0.7
F1200	6.4	$3.1 \pm 0.5$	0.7

Materiál C, 18 kusů v kleci.

Tab. 11 Data rychlostí lapovacího cyklu na základě rozdílné zrnitosti SiC směsi

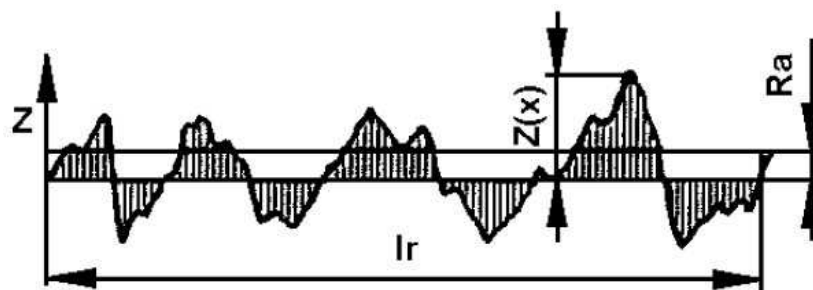
Runda	Hlavní tlak (daN)	Počet kusů v rundě	Čas lapování (sek)	Zmetky (popraskané kusy)	Poznámky	Průměrný čas lapování (sek)
1	200	108	146	2	použití SiC F400	146
1	200	108	147	0	použití SiC F360	147



*Obr.39 Graf závislosti času jednoho lapovacího cyklu od hlavního lapovacího tlaku*

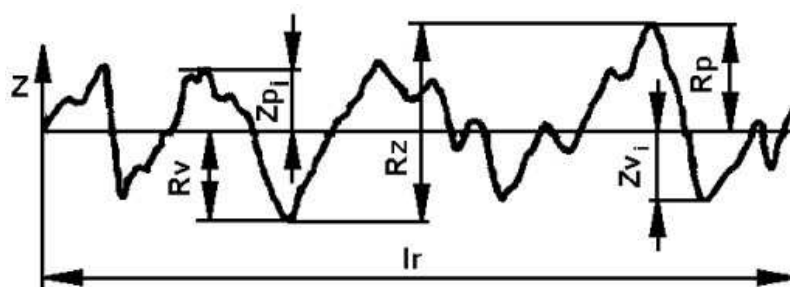
Právě nás bude zajímat drsnost povrchu a to konkrétně těchto dvou hodnot:

$R_a$  – Střední aritmetická úchylka posuzovaného profilu: aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic  $Z(x)$  v rozsahu základní délky  $l_r$  (obr.40). [13], [14], [15]

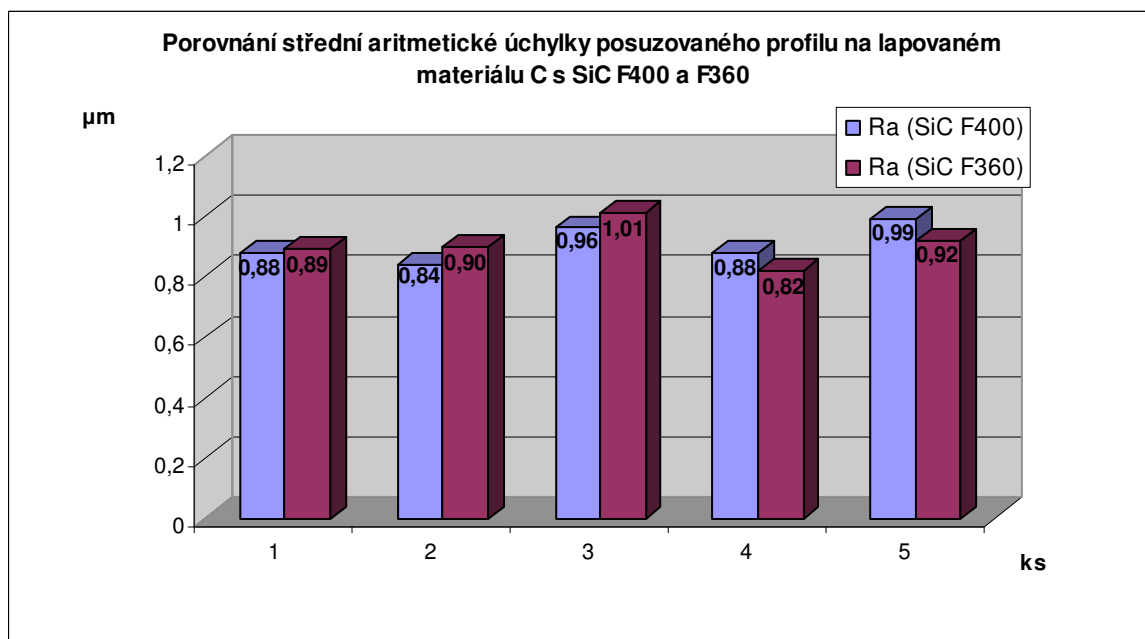


*Obr.40 Střední aritmetická úchylka profilu  $R_a$  [13]*

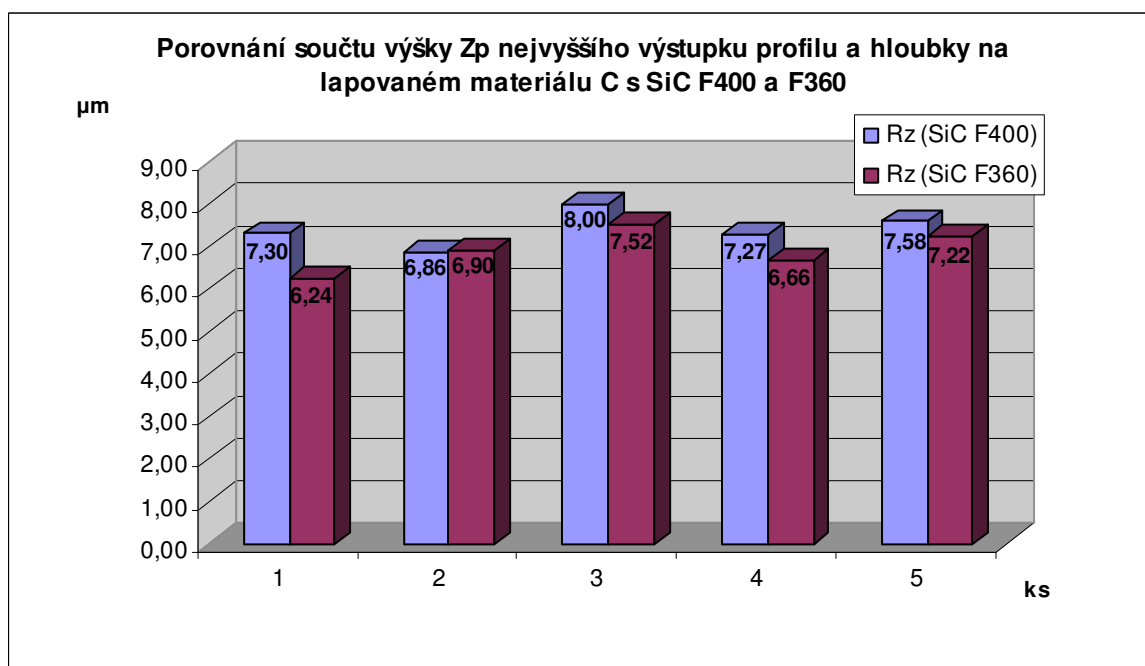
$R_z$  – Největší výška profilu: součet výšky  $Z_p$  nejvyššího výstupku profilu a hloubky  $Z_v$  nejnížší prohlubně profilu v rozsahu základní délky  $l_r$  (obr.41). [13], [14], [15]



*Obr.41 Největší výška profilu  $R_z$  [13]*



*Obr.42 Graf porovnání střední aritmetické úchylky posuzovaného profilu na lapovaném materiálu C s SiC F400 a F360*



*Obr.43 Graf porovnání součtu výšky Zp nejvyššího výstupku profilu a hloubky na lapovaném materiálu C s SiC F400 a F360*

Výsledkem testu č. 6 je minimální rozdíl v rychlosti lapování (obr.39), co byla ta hlavní myšlenka. Zvýšením zrnitosti zrychlit proces lapování. Toto se nám v našem testu neprokázalo, ale další plus je to, že SiC F360 je levnější pro výrobu a třídění jak SiC F400. Aktuálně se v závodě používá zrnitost SiC F400, který bude možné po změření drsnosti Ra a Rz (obr.42 a obr.43) vyměnit za cenově dostupnější SiC F360.

Testovali jsme také SiC o zrnitosti F320, který ale po olapování první rundy nevyhovoval, protože po umytí a osušení byly viditelné škrábance, které nejsou povolené.

## 5. Technicko-ekonomické zhodnocení

Zhodnocení výsledků pro:

### a) Vliv hlavního lapovacího tlaku na rychlost lapování

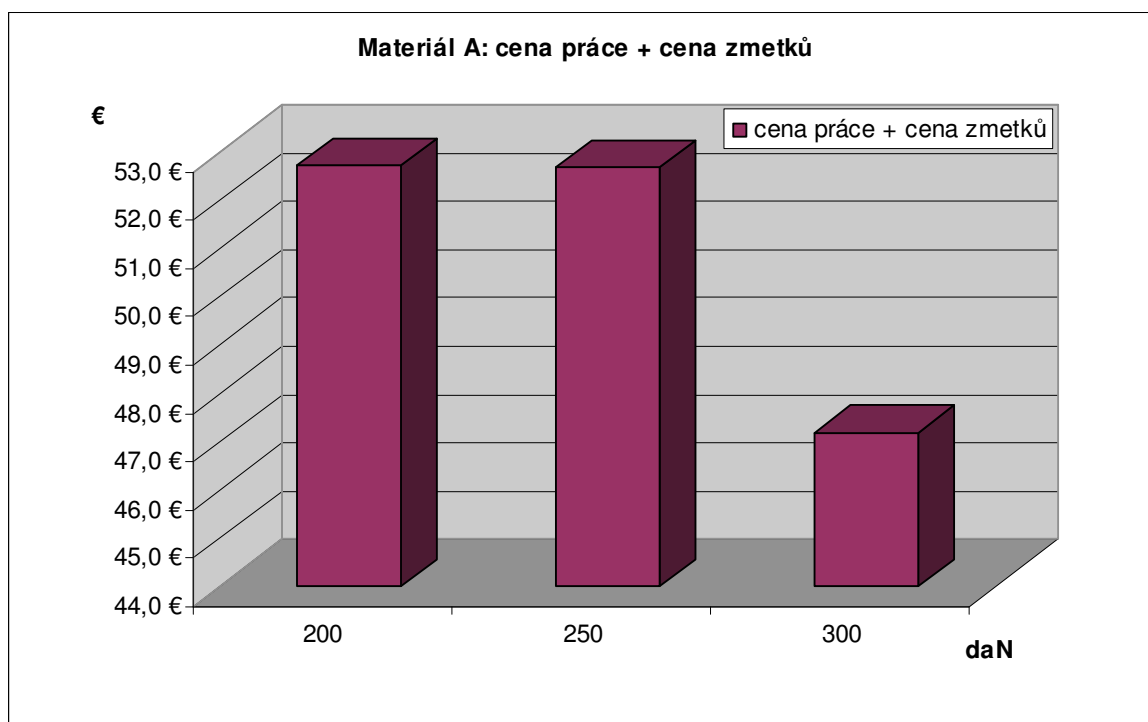
Cílem testů bylo zvýšit produktivitu lapování na základě zvýšení hlavního lapovacího tlaku. Při zvyšování hlavního lapovacího tlaku dochází k častějšímu praskání kusů, protože kusy z výpalu jsou prohnuté.

Proto se musí najít mezi těmito důležitými parametry kompromis.

V následujících grafech jsou vidět náklady na cenu práce a cenu zmetků, které jsme spolu sečetli.

V testu č. 1 jsme dosáhli zlepšení produktivity o 17,5 % a zmetkovitost na praskající kusy nám stoupla o 0,14 %.

Úspory a náklady pro materiál A :

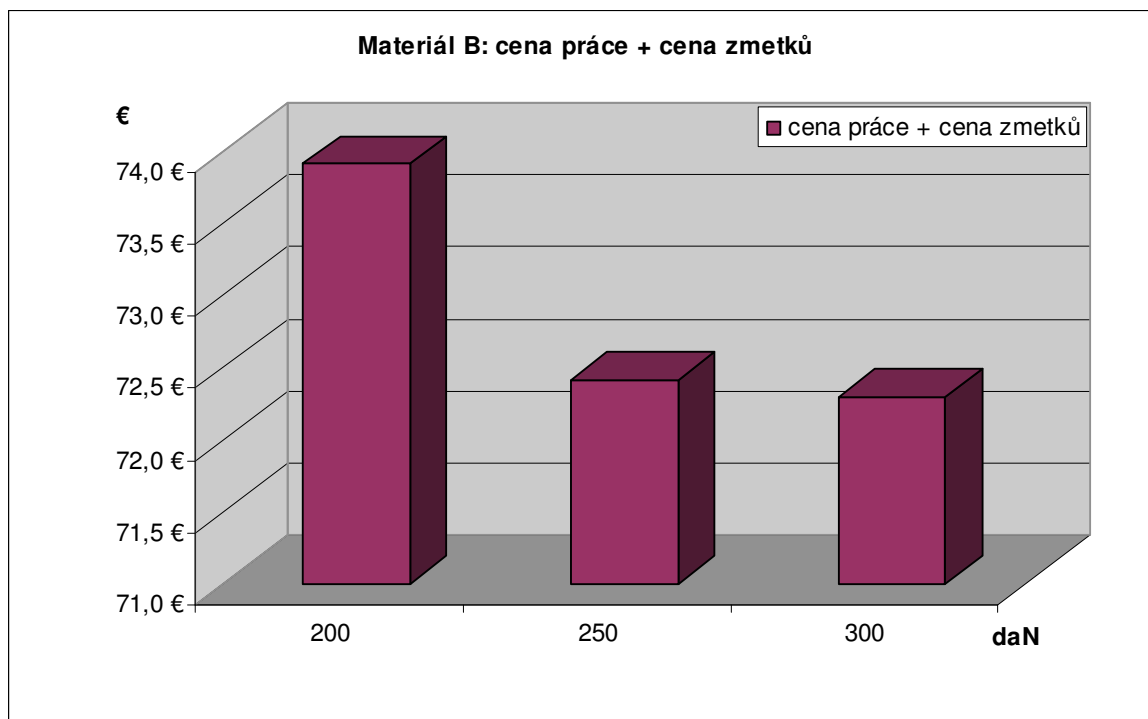


Obr.44 Graf nákladů pro rozdílné tlaky lapování - materiál A

Výsledkem zvýšení produktivity je úspora cca 5 € na 10000 ks co je cca 200 € za týden.

V testu č. 2 jsme dosáhli zlepšení produktivity o 19,2 % a zmetkovitost na praskající kusy nám stoupla o 0,37 %.

Úspory a náklady pro materiál B:

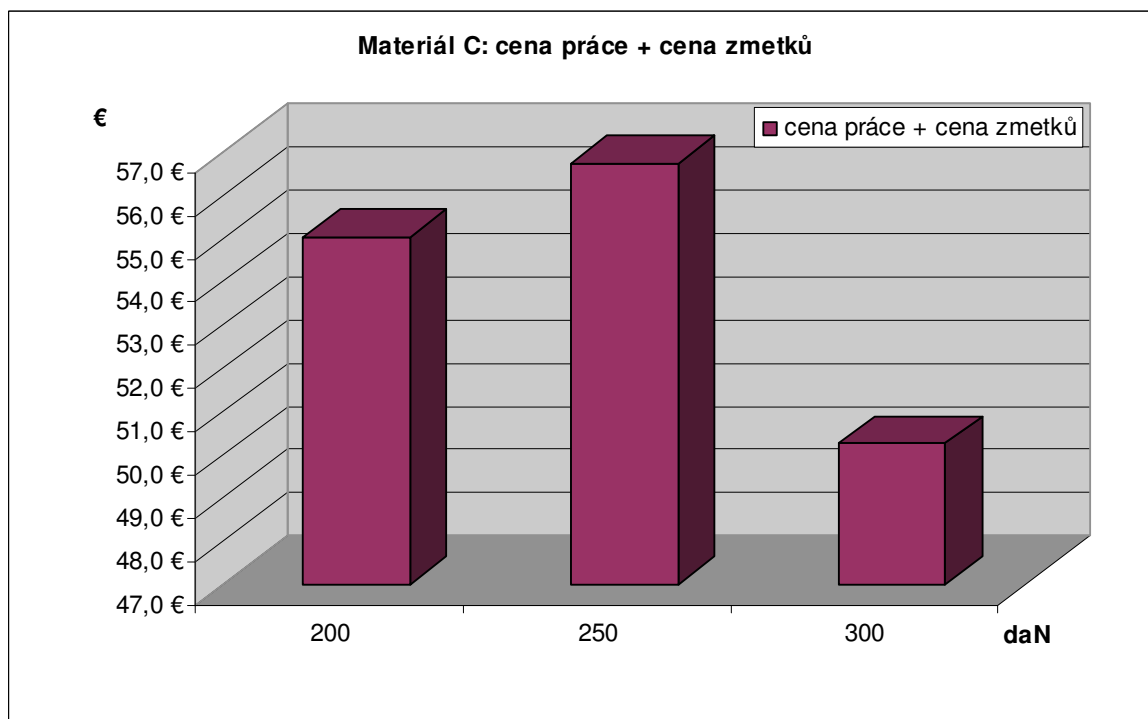


*Obr.45 Graf nákladů pro rozdílné tlaky lapování - materiál B*

Výsledkem zvýšení produktivity je úspora cca 5 € na 10000 ks co je cca 56 € za týden.

V testu č. 3 jsme dosáhli zlepšení produktivity o 11,3 % a zmetkovitost na praskající kusy nám stoupla o 0,18 %.

Úspory a náklady pro materiál C:



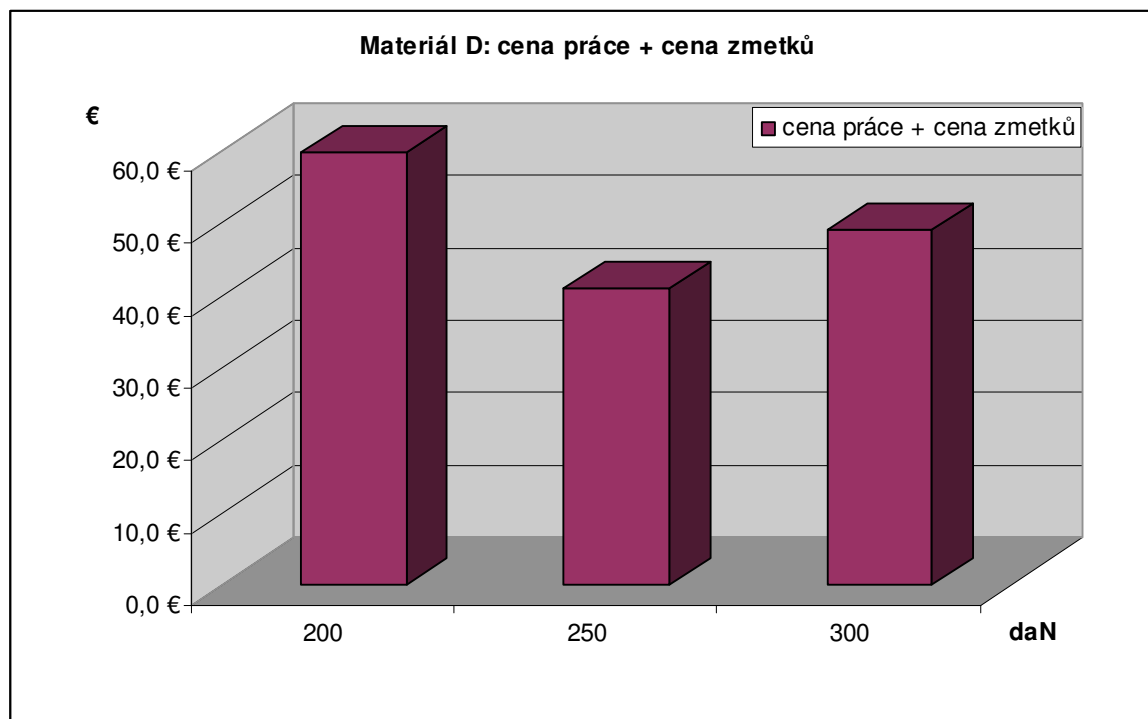
*Obr.46 Graf nákladů pro rozdílné tlaky lapování - materiál C*

Výsledkem zvýšení produktivity je úspora cca 5 € na 10000 ks co je cca 200 € za týden.



V testu č. 4 jsme dosáhli zlepšení produktivity o 16,8 % a zmetkovitost na praskající kusy nám klesla o 0,15 %.

Úspory a náklady pro materiál D:



*Obr.47 Graf nákladů pro rozdílné tlaky lapování - materiál D*

Výsledkem zvýšení produktivity je úspora cca 5 € na 10000 ks co je cca 400 € za týden.

#### **b) Zvýšení počtu otvorů v lapovacích klecích**

Cílem testu bylo zvýšit produktivitu lapování při záměrném zvýšení počtu otvorů v lapovacích klecích. Počet kusů v lapovacích klecích jsme navýšili o 10 % na jednu rundu, při stejném lapovacím tlaku nám stoupl lapovací čas jedné rundy, ale ten jsme museli navýšit, tak aby tlak působící na jeden kus byl stejný. Z důvodu navýšení počtu kusů v lapovacích klecích jsme navýšili hlavní lapovací tlak o 10 % což činí na lapovacím stroji 330 daN, který se úměrně rozloží na všechny součástky. Produktivita se nám tedy zvýší o 10 % a tím dosáhneme stejnou délku lapování se stejným tlakem na kus, ale olapujeme o navýšené množství kusů více.

### **c) Použití SiC s většími granulemi F360**

Ve společnosti EPCOS s.r.o. se aktuálně používá zrnitost SiC F400. Naším cílem testu bylo zvýšit produktivitu lapování s použitím SiC se zrnitostí F360, aby byla zajištěna stále vyhovující drsnost. Z důvodu testu jsme chtěli prozkoumat teorii, jestli při větší zrnitosti dochází k rychlejšímu lapování, což se v našem testu neprokázalo a zjistili jsme, že naše rozdíly při rychlosti lapování jsou minimální. Provedli jsme tedy ještě měření drsnosti povrchu Ra a Rz a zjistili jsme že můžeme prášek o zrnitosti SiC F400 vyměnit za cenově dostupnější prášek SiC F360. Z důvodu, že prášek SiC F360 společnosti vyhovuje tak jsme se rozhodli zjistit, jestli by pro společnost EPCOS s.r.o. nebylo ještě výhodnější použít větší zrnitost prášku a to SiC F320, kterou jsme také otestovali, ale z důvodu olapování při hlavním lapovacím tlaku 300 daN jsme zjistili, že prášek nevyhovuje, protože po umytí a osušení zanechával na součástkách viditelné škrábance, které nejsou na výrobku povolené.

## 6. Závěr

Cílem bakalářské práce bylo zvýšit produktivitu obrábění součástí pro elektrotechniku. Proto jsme se zamysleli nad možnostmi jak zvýšit produktivitu a spojit to zároveň se šetřením nákladů a udržet nejméně stejnou kvalitu vyráběných součástek. Brali jsme na vědomí tři důležité vlivy.

První důležitý vliv na rychlost lapování má hlavní lapovací tlak, který ovlivňuje kvalitu a zmetkovitost (praskající kusy). Při zvyšování hlavního lapovacího tlaku dochází k častějšímu praskání kusů, protože kusy z výpalu jsou prohnuté. Provedli jsme čtyři testy na různý materiál a přišli jsme na to, že ve všech čtyřech testech jsme dosáhli zlepšení produktivity i když nám ve třech testech stoupla zmetkovitost na praskající kusy. Zjistili jsme, že i když nám stoupne zmetkovitost tak je to zanedbatelné, protože v celkovém výsledku zvýšení produktivity bude úspora cca 5 € na 10000 ks což se pohybuje zhruba mezi cca 56-400 € za týden.

Druhý vliv na zvýšení produktivity jsme si vybrali možnost navýšit počet otvorů v lapovací kleci. Výsledkem testu bylo snížení produktivity o 11,6 % při stejném lapovacím tlaku. Jenže při navýšení počtu kusů v lapovací kleci jsme navýšili také hlavní lapovací tlak, protože se úměrně rozloží na všechny součástky. Počet kusů v kleci se navýšil o 10 %, takže výsledkem toho bylo zvýšení hlavního lapovacího tlaku o 10 % (na 330 daN). Produktivita se nám tedy zvýšila o 10 % a tím jsme dosáhli stejné délky lapování, ale olapovali jsme o navýšené množství kusů více.

Za poslední možnost pro zvýšení produktivity jsme si vybrali lapovací směs, která je používaná při lapování (karbid křemíku). Společnost aktuálně používá zrnitost SiC F400, kterou jsme se snažili porovnat se zrnitostí SiC F360, aby byla zajištěna stále vyhovující drsnost. Z testu jsme zjistili, že můžeme prášek SiC F400 vyměnit za cenově dostupnější prášek SiC F360.

Zjistili jsme, že první dva vlivy vedou ke zvýšení produktivity. Výsledkem třetího vlivu sice nebylo zvýšení produktivity, ale změnou SiC F400 za větší zrnitost jsme ušetřili náklady.

## Seznam použitých pramenů

- [1] TDK-EPC Corporation. Šumperk : EPCOS s.r.o., Feritová 1. *Vstupní prezentace 2010*. 2010. 31 s.
- [2] FIBIGR, Jiří; ČECHOVÁ, Silvie; KNAPP, Aleš; et al. *ECHO „Vše, co byste měli vědět o Vaší firmě.“* Šumperk : EPCOS s.r.o., září 2011. 28 s.
- [3] *Termistor PTC – pozistor* [online]. [cit. 6. března 2012]. Dostupné na WWW: [http://www.eamos.cz/amos/kat\\_fyz/externi/kat\\_fyz\\_6544/html/soucastky/Termistor/termistor\\_PTC.htm](http://www.eamos.cz/amos/kat_fyz/externi/kat_fyz_6544/html/soucastky/Termistor/termistor_PTC.htm).
- [4] ULRICH, Daniel. *(Ne)Znamé polovodičové součástky* [online]. 2009 [cit. 2012-03-06]. Dostupný z WWW: [http://www.dmu-mez.ic.cz/III\\_NeZname\\_polovodicove\\_soucastky.pdf](http://www.dmu-mez.ic.cz/III_NeZname_polovodicove_soucastky.pdf).
- [5] CHUDÝ, Vladimír; PALENČÁR, Rudolf; KUREKOVÁ, Eva; et al. *Meranie technických veličín*. Slovenská technická univerzita. Bratislava : Vydavateľstvo STU, 1999. 688 s. ISBN 80-227-1275-2
- [6] ŠPRINGL, Vít. *Měření teploty - polovodičové odporové senzory teploty* [online]. Praha : Modřany, 2004 [cit. 6. března 2012]. Dostupné na WWW: <http://www.hw.cz/Teorie-a-praxe/Dokumentace/ART1141-Mereni-teploty---polovodicove-odporove-senzory-teploty.html>. ISSN 1803-6392.
- [7] MÁDL, Jan; KAFKA, Jindřich; VRABEC, Martin; et al. *Technologie obrábění 3. díl*. Praha : ČVUT, 2000. 81 s. Fakulta strojní. ISBN 80-01-02091-6.
- [8] ROSSMANN, Miloslav. *Skripta Technologie II 2 díl* [online]. Zlínský kraj : Inovace oboru Mechatronik, 2011 [cit. 2012-03-06]. Scripta electronica, 142 s. Dostupný z WWW: <http://coptel.coptkm.cz/index.php?action=2&doc=33113&instance=2>.

- [9] ŘASA, J.; GABRIEL, V. *Strojírenská technologie 3: Metody, stroje a nástroje pro obrábění 1.díl*. 2.vyd., v Scientia, spol. s r.o., pedagogické nakladatelství. Praha : Scientia, 2005. 256 s. ISBN 80-7183-337-1
- [10] SVĚT CNC STROJŮ: *Lapování* [online]. 2011 [cit. 6. března 2012]. Dostupné na WWW: <<http://www.cnc.estranky.cz/clanky/trochu-teorie.html>>.
- [11] ČEP, Robert. *Přednášky z předmětu Technologie obrábění: Přednáška 12* [online]. [cit. 2012-03-06]. Prezentace. Dostupný z WWW: <[http://homel.vsb.cz/~cep77/tech\\_II](http://homel.vsb.cz/~cep77/tech_II)>.
- [12] *Silicon carbide* [online]. 2009 [cit. 2012-05-01]. Dostupné na WWW: <[http://www.agp-abrasifs.com/pdfs/fiche\\_195\\_en.pdf](http://www.agp-abrasifs.com/pdfs/fiche_195_en.pdf)>.
- [13] TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie část 1*. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 2004. 112 s. ISBN 80-248-0672-X
- [14] ZAHÁLKA, Petr. *Měření drsnosti povrchu* [online]. [cit. 2012-04-30]. Dostupné na WWW: <[www.mitutoyo-czech.cz/cz/pdf/poster\\_drsnosti\\_ra\\_cze\\_a3.pdf](http://www.mitutoyo-czech.cz/cz/pdf/poster_drsnosti_ra_cze_a3.pdf)>.
- [15] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 2007. Dostupné na WWW: <<http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>>. ISBN 978-80-248-1505-3.

Ráda bych poděkovala všem, kteří mi pomohli s přípravou této bakalářské práce.

Děkuji především svému vedoucímu doc. Ing. Vladimíru Vrbovi, CSc., za odborné vedení, cenné rady a připomínky.

Upřímné poděkování patří Ing. Jiřímu Riedlovi, vedoucímu procesní technologie za umožnění provedení experimentů ve společnosti EPCOS s.r.o. Šumperk, také děkuji Ing. Pavlu Lenčěšovi, procesnímu technologovi za jeho cenné rady, ochotu, vstřícnost, trpělivost, poskytnuté materiály a výborné vedení mé bakalářské práce.